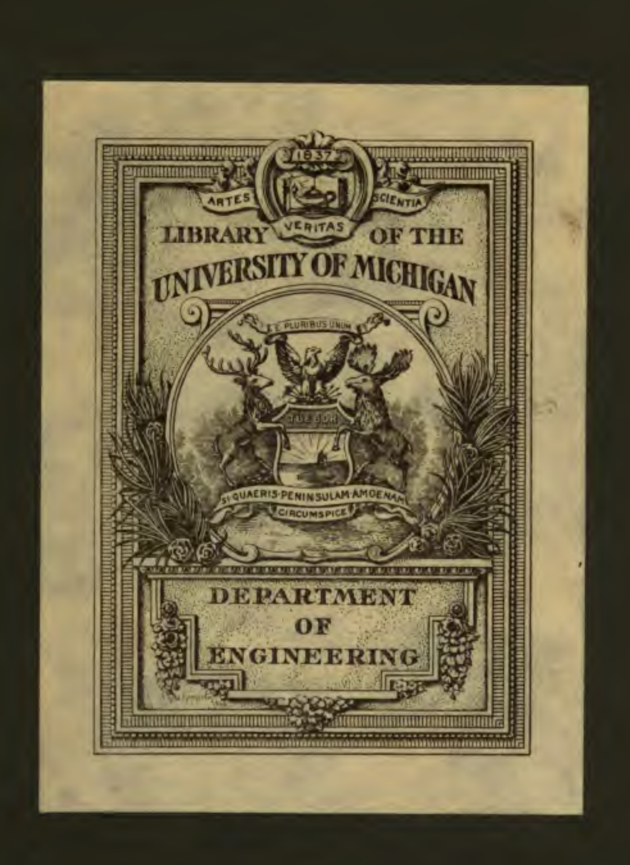

1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING





Die Kleinmotoren,

ihre wirtschaftliche Bedeutung für Gewerbe und Landwirtschaft, ihre Konstruktion und Kosten.

Allgemein verständlich dargestellt

von

E. Claussen,

Königl. Gewerberat.

Dritte umgearbeitete und vermehrte Auflage.

Mit 99 Abbildungen im Text.



Berlin W.

Verlag von Georg Siemens

1908.

Vorwort.

Seit dem Erscheinen der zweiten Auflage hat nicht nur die Bedeutung der Kleinmotoren noch zugenommen, sondern auch ihre Bauweise einen gewissen Abschluß gefunden, indem sich aus den vielen verschiedenen Konstruktionen einige praktisch bewährte entwickelt haben. Diese sind, soweit es für den Zweck des Buches, aufklärend und beratend zu wirken, erforderlich erschien, behandelt worden.

Da seit Jahren billige und nicht gute Motoren auf den Markt gebracht und von dem Publikum zum eignen Nachteil und zum Schaden der guten Firmen gekauft wurden, so hat sich eine Vereinigung von Kleinmotorenfabrikanten unter Führung der Gasmotorenfabrik Deutz gebildet, um nur gute Motoren zu angemessenem Preise zu liefern.

Der Text des Buches hat eine erhebliche Vermehrung erfahren, weil neue Arten von Motoren aufgenommen und vor allem die Betriebskostenberechnungen etwas ausführlicher behandelt werden mußten, damit ein Gewerbetreibender in der Lage ist, den für seine Verhältnisse zweckmäßigsten Motor auszuwählen und seine Betriebskosten zu berechnen.

Möge diese neue Auflage ebenso wohlwollend als die früheren aufgenommen werden und segensreich wirken.

Hagen, den 24. Juni 1908.

Claussen.

Inhaltsverzeichnis.

Seite



§ 1.

Wirtschaftliche Bedeutung der Kleinkraftmaschinen.

Die Lebensaufgabe eines jeden Menschen, mag er einen hohen oder niedrigen Rang in der Gesellschaft einnehmen, ist die „Arbeit“, das heißt, die Verrichtung einer nützlichen Tätigkeit. Je nach der Art der Beschäftigung und dem Grade der Bildung, je nach körperlicher oder geistiger Veranlagung, nach Klima usw. kann diese Tätigkeit eine außerordentlich verschiedene sein. Sie äußert sich aber stets nur, wie Dr. Engel in seinem Vortrage über „Wesen und Preis der Arbeit“ ausführt, durch die hierfür von der Natur dem Menschen verliehenen Organe: Leib, Verstand und Herz. Die Tätigkeit des Leibes nennt der Volksmund schlechthin Leibesarbeit, diejenige des Verstandes Kopfarbeit und diejenige des Herzens, als des Sitzes der guten und schlimmen Eigenschaften und Gefühle, Gemütstätigkeit. Die letzte Arbeitsart ist für die nachfolgenden Betrachtungen von so untergeordnetem Werte, daß auf sie nicht näher eingegangen zu werden braucht; um so wichtiger ist aber die Kopfarbeit, die für die Folge als geistige Arbeit, und namentlich die Leibesarbeit, die als mechanische Arbeit bezeichnet wird.

In einzelnen seltenen Fällen wird nur die eine oder die andere der beiden zuletzt genannten Arbeitsarten allein auftreten, in den meisten Fällen sind sie dagegen beide zugleich vorhanden. Die folgenden Beispiele mögen das soeben Gesagte etwas näher erläutern.

Der Knecht des Landwirts, der das Schwungrad seiner Häckselschneidmaschine dreht, um Häcksel für das Vieh zu schneiden, verrichtet eine nützliche Tätigkeit — er arbeitet. Da zum Drehen des Schwungrades nur eine gewisse Körperkraft, aber durchaus gar keine Verstandestätigkeit oder geistige Anstrengung erforderlich ist, so kann in diesem Falle auch nur von einer rein mechanischen Arbeit die Rede sein. Der Tischler hingegen, der auf seiner Hobelbank ein unebenes Brett

gerade hobelt, verrichtet eine mechanische Arbeit, indem er vermittels seiner Körperkraft den Hobel arbeitverrichtend über das Brett hin- und herführt, zugleich aber auch eine geistige Arbeit, indem er gerade diejenigen Stellen aussucht, an denen sich Erhebungen befinden, die zur Erreichung seines Zweckes fortgenommen werden müssen. Ein Gleiches tritt bei dem Schlosser ein, der einen Würfel feilen will, die Hin- und Herbewegung der Feile ist wieder eine rein mechanische Arbeit, das Aussuchen der abzufeilenden Stellen aber eine geistige. Der Gelehrte hingegen, der in seinem Studierzimmer den Gedankengang einer Abhandlung, die er soeben gelesen hat, sich im Geiste nochmals wiederholt, verrichtet eine rein geistige Arbeit, da der Körper an der Tätigkeit seiner Gedanken keinen Anteil zu nehmen braucht. In dem zuerst genannten Beispiel wird nur rein mechanische Arbeit verrichtet, in den beiden folgenden treten die mechanische und geistige Arbeit zugleich auf, während in dem letzten eine rein geistige Arbeit vorhanden ist. Jede dieser beiden Arbeitsarten hat ihre Berechtigung, jede derselben erfordert in ihrer Weise Anstrengung.

Die rein mechanische Arbeit, welche ein lebendes Wesen (Mensch und Tier) oder eine Maschine verrichtet, läßt sich genau messen und der Wert oder Preis mit den Kosten einer anderen Maschine, z. B. einer Dampfmaschine von gleicher Leistung, deren Amortisations-, Reparatur- 2c. Kosten bekannt sind, vergleichen, wie das noch ausführlich gezeigt wird. Dagegen fehlt jeder Maßstab für die geistige Arbeit und somit jede Möglichkeit, ihren Wert auch nur einigermaßen zutreffend zu bestimmen.

Die ältesten Kraftquellen sind außer den erwähnten lebenden Motoren (Mensch und Tier) das bewegte Wasser und die bewegte Luft (Wind), welche beide frei in der Natur vorhanden sind. Die in ihnen enthaltene Kraft muß, bevor sie nutzbar gemacht werden kann, gleichsam erst eingefangen, gefesselt oder gewonnen werden und dann noch eine bestimmte Richtung erhalten, in der sie sich äußern kann. Denkt man sich zum Beispiel, daß fließendes Wasser durch ein Gerinne fortgeleitet würde und von diesem auf eine feste tellerförmige Platte herabfiele, so hat diese Platte allerdings die im Wasser enthaltene lebendige Kraft als Stoß aufzunehmen, sie kann aber in dieser Weise nicht nutzbar gemacht werden. Würde man dagegen das Wasser so auf die Platte fallen lassen und diese selbst so anordnen, daß sie in Umdrehung versetzt werden kann, wodurch der Kraft die Möglichkeit

gegeben wird, sich in einer bestimmten Richtung zu äußern, dann ist ihre Ausnutzung möglich, dann erst hat man eine Kraftmaschine, die imstande ist, Kraft zur Verrichtung von mechanischer Arbeit zu liefern.

Vor etwa hundert Jahren lernte man die Wärme als Kraftquelle benutzen. Die ersten Wärmekraftmaschinen waren die Dampfmaschinen, die seitdem für unser ganzes wirtschaftliches Leben von der größten Bedeutung geworden sind. Seit etwa 30 Jahren kann man die Wärme, die durch das Verbrennen von gasförmigen Brennstoffen erzeugt wird, in den Gasmaschinen nutzbringend verwerten. Diesen schlossen sich später die Kraftmaschinen für flüssige Brennstoffe an, und wer weiß, ob es nicht gelingt, noch Kraftmaschinen für feste Brennstoffe zu erfinden, so daß die Wärme, die beim Verbrennen der Kohle erzeugt wird, in der Kraftmaschine ohne Zwischenglieder wie Dampfkessel und Generator ausgenutzt wird. Bei der großen Verbreitung, die die Elektrizität in neuerer Zeit gefunden hat, haben die Elektromotoren eine immer größere Bedeutung erhalten.

Es fragt sich nun, welche Wirkung hat die Einführung der Kraftmaschinen in die Industrie auf die Entwickelung der gewerblichen Betriebe ausgeübt.

Jahrtausende hierdurch kannte man nur Menschen- und Tierkraft sowie die Verwendung der Wind- und Wasserkräfte, welche aber nur durch höchst unvollkommene Einrichtungen nutzbar gemacht werden konnten. Die belebten Kraftmaschinen (für Wind- und Wasserkräfte) hatten gegenüber den lebenden Motoren (den Menschen und Tieren), deren Kraft durch Nahrungsmittel und Ruhe von Zeit zu Zeit wieder ergänzt werden mußte, den Vorteil, daß sie einesteils die Kraft billiger liefern konnten, da ihre in der Natur vorhandenen Kraftquellen unentgeltlich zu Gebote standen und daß sie es anderenteils ermöglichten, eine größere Kraft und meistenteils auch für eine längere Zeitdauer herzugeben. Diese Kraftmaschinen hatten aber den Nachteil, daß sie an ganz bestimmte örtliche Verhältnisse gebunden oder von besonderen Zufälligkeiten abhängig waren; so war es z. B. unmöglich, da die Wasserkraft zu benutzen, wo es keine hinreichende Wassermenge oder kein genügendes Gefälle gab, oder die Kraft des Windes auszunutzen, wenn dieser selbst nicht vorhanden war.

Es ist hiernach ganz erklärlich, daß sich die Industrie mit der zunehmenden Vervollkommnung der kleinen Wasserkraftmaschinen, wie sie hauptsächlich im Mittelalter stattfand, namentlich an den Fluß-

läufen und den daran gelegenen Städten entwickelte, so daß schon zu dieser Zeit eine gewisse Anhäufung von Gewerbebetrieben mit maschinellem Antrieb an einzelnen Stellen vorhanden war. Da die gewonnenen Betriebskräfte aber nur gering waren, so konnte es auch nur eine Kleinindustrie geben.

Als man aber vor etwa hundert Jahren die Dampfmaschine als Kraftmaschine in die Industrie und den Verkehr einführte und mit ihrer Vervollkommnung jede beliebige Kraftentwicklung an jeder beliebigen Stelle ermöglichte, da entwickelte sich aus einzelnen Kleinbetrieben oder neben ihnen eine Großindustrie. In welchem Umfange jetzt Klein- und Großbetriebe nebeneinander vorhanden sind, und wie viel Personen in ihnen beschäftigt werden, geht aus den Berufs- und Gewerbezählungen des Deutschen Reiches in den Jahren 1875, 1882 und 1895*) hervor. Bezeichnet man diejenigen Betriebe, in denen 1—5 Personen beschäftigt sind, als Kleinbetriebe, diejenigen mit 6—50 Personen als Mittelbetriebe und die mit mehr als 50 Personen als Großbetriebe, so waren 1895 vorhanden:

Art der Betriebe	Anzahl der Betriebe	Anzahl der darin beschäftigten Personen	Durchschnittlich kommen Personen auf einen Betrieb
Kleinbetriebe	1 989 572	3 191 125	1,6
Mittelbetriebe	139 459	1 902 049	13,6
Großbetriebe	17 941	2 907 329	162,0
zusammen	2 146 972	8 000 503	3,7

Man sieht daraus, daß in den Kleinbetrieben fast ebensoviel Personen beschäftigt sind als in den Mittel- und Großbetrieben zusammen, obwohl erst auf 111 Kleinbetriebe ein Mittel- und Großbetrieb entfällt. Um einen Vergleich mit den früheren Zählungen zu ermöglichen, müssen die Mittelbetriebe zu den Großbetrieben gerechnet werden, dann ergiebt sich folgende Übersicht.

*) Die Angaben für 1907 stehen noch nicht zur Verfügung.

Art der Betriebe	Anzahl der Betriebe		
	1875	1882	1895
Kleinbetriebe	2 858 405	2 898 324	1 989 572
Großbetriebe	69 550	96 824	157 400
zusammen	2 927 955	2 995 148	2 146 972

Hieraus geht hervor, daß in dem siebenjährigen Zeitraum von 1875 bis 1882 die Gesamtzahl der Betriebe um 2,3 % zunahm. Während die Anzahl der Großbetriebe um 39,2 % wuchs, blieb die der Kleinbetriebe mit 1,4 % Wachstum erheblich hinter dem Durchschnitt zurück. Das rapide Anwachsen der Großbetriebe zeigt sich noch deutlicher in dem dreizehnjährigen Zeitraum von 1882—1895, in welchem die Gesamtzahl der Betriebe um 848 176 = 28 % gesunken ist, dabei haben die Kleinbetriebe eine Einbuße von 908 752 = 31 % erlitten, während die Anzahl der Großbetriebe um 60 576 = 62 % zugenommen hat. Somit hat ein gewaltiges Anwachsen der Großbetriebe auf Kosten der Kleinbetriebe stattgefunden.

Vergleicht man ferner die säntlichen in jenen Betrieben beschäftigten Personen, so ergibt sich folgende Übersicht.

Art der Betriebe	Beschäftigte Personen		
	1875	1882	1895
Kleinbetriebe	4 159 231	4 476 495	3 191 125
Großbetriebe	2 420 720	2 845 287	4 809 378
zusammen	6 579 951	7 321 782	8 000 503

Während von 1875—1882 die Anzahl der beschäftigten Personen um 741 831 zunahm und dieser Zuwachs sich auf Klein- und Großbetriebe ungefähr gleich verteilte, hat in dem langen Zeitraum von 1882 bis 1895 überhaupt nur eine Zunahme von 678 721 Personen gleich 9,3 % stattgefunden. Dabei beträgt der Zuwachs bei den

Großbetrieben 1 964 091 = 69 % und die Abnahme bei den Kleinbetrieben 1 285 370 = 29 %, d. h. etwa der vierte Teil aller 1882 in den Kleinbetrieben beschäftigten Personen ist in den Großbetrieb übergegangen. Es hat also auch in dieser Hinsicht eine große Verschiebung zu Gunsten der Großbetriebe auf Kosten der Kleinbetriebe stattgefunden.

Die Gewerbezählung von 1895 gibt auch eine Übersicht über die in den Gewerbebetrieben benutzten Kraftmaschinen, die in folgender Tabelle wiedergegeben ist.

Anzahl der Betriebe mit Kraftmaschinen *)	Betriebe mit						
	Dampfkraftmaschinen		Wasserkraftmaschinen		Windkraftmaschinen	Gas-, Heißluft-Kraftmaschinen	anderen Kraftmaschinen
	Anzahl	Pferdestärken	Anzahl	Pferdestärken	Anzahl	Anzahl	Anzahl
139 687	54 402	2 661 513	53 908	626 853	18 242	13 678	5 444

Die Windmotoren (15 638) dienen fast ausschließlich und die Wasserkraftmaschinen (27 381 mit 259 434 PS.) zum größten Teile zum Antrieb in Betrieben der Nahrungs- und Genußmittel (Getreidemühlen). Die Anzahl der Gaskraftmaschinen hat in den 3 Jahren seit der Gewerbezählung noch ganz erheblich zugenommen, ebenso ist es mit den „anderen Kraftmaschinen" in der letzten Spalte, unter denen Petroleum-, Benzin-, Äther-, Druckluft- und Elektromotoren zu verstehen sind.

Da die mechanische Arbeitsleistung eines Mannes etwa 0,082 Pferdestärken beträgt, so entspricht den 2 661 513 Pferdestärken, die die Dampfmaschinen 1895 leisteten, die mechanische Arbeitsleistung von $\frac{2\,661\,513}{0{,}083}$ = rd 32,5 Millionen Männern, d. h. die Dampfmaschinen allein leisteten mehr als das 4fache derjenigen mechanischen Arbeit, die die sämtlichen 8 000 503 gewerblichen Arbeiter in Deutschland verrichten können.

*) Darunter befinden sich 127 650 Haupt- und 12 037 Nebenbetriebe.

Hieraus erklärt sich zum Teil auch die große Verschiebung, die in den letzten hundert Jahren auf sozialem Gebiete stattgefnnden hat. Auf der einen Seite eine gewaltige Anhäufung von Betriebskraft und Kapital in den Händen weniger Personen, auf der anderen das Ringen der vielen Besitzlosen um ihr Dasein, dazwischen der besitzende Mittelstand, aus dem nur wenige von Glück begünstigte in die Reihen der Großkapitalisten emporsteigen, viele aber im Konkurrenzkampfe gegen das Großkapital untergehen und in die Klasse der Besitzlosen hinabsteigen. Es ist daher die Aufgabe des Staates, wie das in der kaiserlichen Botschaft vom 17. November 1881 auch ausgedrückt ist, den Hilfsbedürftigen den Beistand zu gewähren, auf den sie Anspruch haben. Aus diesem Gesichtspunkte ist unsere sozialpolitische Gesetzgebung (Gewerbeordnung, Kranken-, Unfall-, Alters- und Invaliditäts-Versicherungs-Gesetz, die Gesetze über die Gewerbegerichte, über die Beschlagnahme des Arbeitslohns ꝛc.) entstanden, deren segensreichen Einfluß kein Verständiger leugnen wird. Wenn trotzdem noch vielfach über mangelhaften Arbeiterschutz geklagt wird, so ist zu bedenken einesteils, daß die sozialpolitische Gesetzgebung noch keineswegs abgeschlossen und andernteils, daß durch den Erlaß von allgemein gültigen Vorschriften (Gesetzen) nicht den Wünschen jedes Einzelnen, die aus besonderen Umständen hervorgegangen sind und an sich durchaus berechtigt sein können, entsprochen werden kann; in solchen Fällen muß innerhalb der gesetzlichen Normen durch Polizeimaßnahmen, private Wohltätigkeit usw. den Übelständen begegnet werden. Während in dieser Weise für den Besitzlosen schon manches geschehen ist, sucht man neuerdings auch den Mittelstand durch Zusammenschluß von gleichartigen Gewerbetreibenden und Bildung von Handwerkerkammern zu stärken. So segensreich auch mit der Zeit diese Einrichtungen wirken mögen, so helfen sie den Kleingewerbetreibenden doch kaum über den schweren Konkurrenzkampf mit dem Großbetriebe hinweg, über einen Kampf, der mit so ungleichen Waffen geführt wird, daß das Kleingewerbe unterliegen muß. Es fragt sich nun, wie ist ein solch ungleicher Kampf möglichst zu vermeiden, oder mit andern Worten, was wird die Großindustrie herstellen und was verbleibt dann noch der Kleinindustrie.

Es ist klar, daß der Kleingewerbetreibende von vorn herein auf die Herstellung solcher Fabrikate verzichten muß, die kostspielige Einrichtungen, große Betriebskräfte oder eine große Anzahl von Arbeitern ꝛc.

erfordern, weil ihm die Mittel hierzu nicht zur Verfügung stehen. Von den kleineren Bedarfsgegenständen kann die Großindustrie nur solche herstellen, die in großer Menge gebraucht werden, sogenannte Massenartikel, weil sie die ihr zu Gebote stehenden Betriebskräfte und die Arbeitsmaschinen so weit als nur möglich ausnutzen muß. Da die Maschinen aber, wie wir schon sahen, nur mechanische Arbeit verrichten können, so wird die Großindustrie im allgemeinen nur solche Gegenstände verfertigen, die durch ein Maximum von mechanischer und ein Minimum von geistiger Arbeit sich herstellen lassen. Dem gegenüber muß der Kleingewerbetreibende solche Gebrauchsgegenstände anfertigen, die viel geistige und wenig mechanische Arbeit erfordern. Daher trifft man auch in der Großindustrie überwiegend ungelernte und in der Kleinindustrie gelernte Arbeiter. Derjenige Kleingewerbetreibende aber, der die in seinem Betriebe zu leistende mechanische Arbeit durch Maschinen verrichten läßt, hat einen erheblichen Vorteil gegenüber seinem Konkurrenten ohne Maschinen, weil seine Leistungsfähigkeit eine größere und seine Betriebskosten kleiner werden. Deshalb wird der Kleingewerbetreibende mehr und mehr zum Gebrauch von Arbeitsmaschinen übergehen müssen.

Im folgenden soll ihm nun gezeigt werden, welche Kraftmaschinen ihm für den Antrieb seiner Arbeitsmaschinen zur Verfügung stehen und wie hoch die Anlage- und Betriebskosten sind, damit er unter ihnen die für seinen Betrieb passenden Motoren auswählen kann.

§ 2.

Einteilung der Kraftmaschinen.

Die Motoren kann man in zwei große Gruppen einteilen, in solche, die selbst leben, und in solche, die belebt werden. Jede dieser Hauptgruppen zerfällt wieder in Unterabteilungen, so daß sich folgende Übersicht ergibt:

I. Lebende Motoren.
   1. Der Mensch,
   2. das Tier (Göpelwerk).

II. Belebte Motoren oder Kraftmaschinen.
   1. Wasserkraftmaschinen, Wasserräder und Wasserdruckmaschinen,
   2. Windkraftmaschinen,
   3. Wärmekraftmaschinen.

A. mit indirekter Ausnutzung der erzeugten Wärme
a) Dampfmaschinen,
b) Heißluftmaschinen.
B. mit direkter Ausnutzung der erzeugten Wärme
a) für gasförmige Brennstoffe
die Gasmaschinen,
b) für flüssige Brennstoffe und zwar
α) mit Verdampfungs- oder Zerstäubungsvorrichtung mit Zünder. Benzin-, Petroleum-, Spiritus- 2c. Maschinen.
β) mit Einspritzvorrichtung ohne Zünder. Einspritzmotoren (Diesel-, Haselwander-, Trinklermotor).
c) für feste Brennstoffe
Sauggasanlagen.

4. Elektrische Kraftmaschinen (Elektromotoren)
a) für Gleichstrom,
b) für Wechselstrom,
c) für Drehstrom.

In dem folgenden sollen die einzelnen Kraftmaschinen ihrer Bedeutung entsprechend mehr oder weniger eingehend behandelt werden. Dazu ist es aber nötig, zunächst einige häufig in der Technik vorkommende Begriffe zu erklären.

§ 3.

Erklärung von wichtigen technischen Begriffen.

In der Technik versteht man unter Kraft die Ursache einer Bewegung oder die Ursache einer Bewegungsänderung. Wenn z. B. ein Wagen auf eine schiefe Ebene gefahren ist und nach dem Abspannen der Pferde von selbst anfängt herabzulaufen, so muß eine Kraft vorhanden sein, die ihn in Bewegung setzt und seine Geschwindigkeit fortwährend vergrößert; es ist die Anziehungskraft der Erde oder die Schwerkraft, die hier treibend wirkt. Wenn der Wagen nun auf die horizontale Wegstrecke kommt, so wird seine Geschwindigkeit kleiner und kleiner, und endlich bleibt er stehen. Seine Geschwindigkeit wird durch die Reibung seiner Räder an der Wegeoberfläche nach und nach verringert, so daß seine Bewegung endlich aufhört; es hat also die Reibung als widerstehende Kraft gewirkt.

Man kann hiernach treibende und widerstehende Kräfte (**Widerstände**) unterscheiden.

Die Kraft wird in der Technik durch kg und der Weg, den ein Körper zurücklegt, durch m gemessen, das Produkt aus Kraft und Weg (in der Richtung der Kraft) heißt **Arbeit** und wird in mkg, sprich Meterkilogramm, auch kgm = Kilogrammmeter, ausgedrückt. Wenn also eine Person A ein Gewicht von 10 kg an einem Seile über einer Rolle durch Ziehen mit der Hand um 5 m gehoben hat, so ist die von ihr verrichtete Arbeit 5 m mal 10 kg gleich 50 kgm oder 50 mkg. Wenn eine andere Person B die 10 kg 20 m hoch gehoben hat, so ist die von ihr verrichtete Arbeit = 200 mkg. Um nun vergleichen zu können, wer von beiden am meisten geleistet hat, muß noch die Zeit angegeben werden, in welcher jede die Arbeit verrichtete. A möge 5 Sekunden und B 40 Sekunden gebraucht haben, so ist die Leistung von

$$A = \frac{5\text{ m} \cdot 10\text{ kg}}{5\text{ Sekunden}} = 10\text{ mkg in 1 Sekunde,}$$

$$B = \frac{20\text{ m} \cdot 10\text{ kg}}{40\text{ Sekunden}} = 5\text{ mkg in 1 Sekunde.}$$

Danach hat A das Doppelte von B geleistet.

Eine Arbeitsleistung von 75 mkg in einer Sekunde nennt man eine **Pferdestärke**,*) abgekürzt PS.

Es hat also

$$A = \frac{10\text{ mkg}}{75\text{ mkg}} = 0{,}133\text{ Pferdestärken, und}$$

$$B = \frac{5\text{ mkg}}{75\text{ mkg}} = 0{,}067\text{ PS geleistet.}$$

Es soll jetzt an einer Kraftmaschine gezeigt werden, wie man die Pferdestärken berechnet. Da die Dampfmaschine von allen am bekanntesten ist, so möge sie gewählt werden. In dem Dampfkessel wird der Dampf erzeugt, der in dem Zylinder der Maschine den Kolben bewegt. Die treibende Kraft liefert also der Dampf, dessen

*) Die englische Bezeichnung ist horse power und daher die Abkürzung HP, die man hier vermeiden sollte, weil sich die engl. Pferdestärken auf ein anderes Maßsystem beziehen. Die engl. HP ist nämlich 550 Fußpfund. (1 Pfund = 0,454 kg; 1 Fuß = 0,305 m; also 1 HP = 550·0,454·0,305 = rd 76 mkg, d. h. die engl. Pferdestärke ist rd 1 mkg größer als die deutsche.)

Spannung man in kg auf 1 qcm (Atmosphären) ausdrückt. Der Körper, der bewegt wird, ist der Kolben, dessen Weg man in m bestimmen kann. Da das Ventil, das den Dampf des Kessels in den Zylinder eintreten läßt, nur während eines Teiles des Kolbenhubes geöffnet ist, so wird bei den verschiedenen Stellungen des Kolbens ein verschieden hoher Dampfdruck auf ihn wirken. Um ihn bei jeder Kolbenstellung genau zu ermitteln, bedient man sich eines Indikators. Dieser besteht aus drei Teilen:

1. aus einem kleinen, senkrecht angeordneten, oben offenen Zylinder a (Fig. 1), in dem sich ein Kolben b befindet, der durch eine kleine Feder c herabgedrückt wird. Läßt man durch einen Hahn i unter den Kolben gespannten Dampf treten, so wird die Feder zusammengepreßt. Ihre Spannung wählt man nun so, daß z. B. einer Zusammenpressung von 1 mm ein Druck von 1 Atmosphäre (1 kg auf 1 qcm) entspricht; demnach würden 3 mm Zusammenpressung angeben, daß eine Dampfspannung von 3 Atm. vorhanden ist usw. Es ist jetzt noch nötig, diesen Druck sichtbar aufzutragen, dazu dient

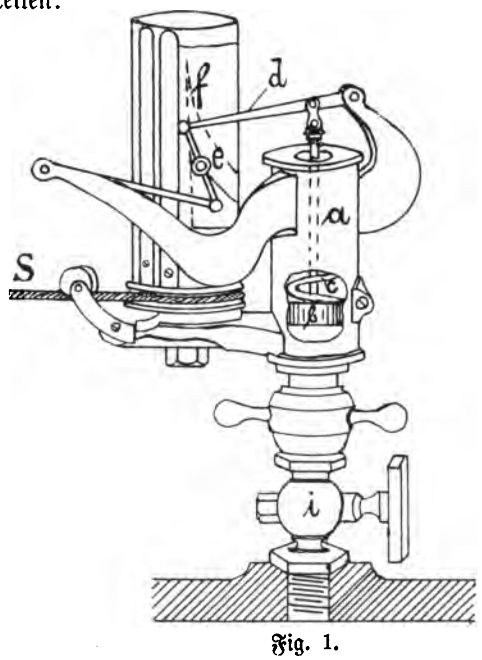


Fig. 1.

2. der Schreibapparat. Er besteht aus einer kleinen Stange, die am Kolben b befestigt ist, und einer Geradführung d für einen Schreibstift e, der die Bewegung des Kolbens auf ein Papier f entsprechend der senkrechten Bewegung des Indikatorkolbens auch in senkrechten Linien überträgt. Wenn das Papier feststeht, so schreibt e nur übereinanderliegende gerade Linien, aus denen man für die Berechnung nichts entnehmen kann. Es ist deshalb nötig,

3. daß das Papier bewegt wird. Zu diesem Zweck ist es auf einer senkrechten Trommel angebracht, die durch eine Feder im Innern in einer bestimmten Ruhelage gehalten wird. Wenn man diese Trommel durch eine Schnur S mit dem Kreuzkopf der Maschine verbindet, so wird die Trommel beim Hingange des Kolbens durch die Schnur in der einen, und beim Hergange des Kolbens durch die Feder in der anderen

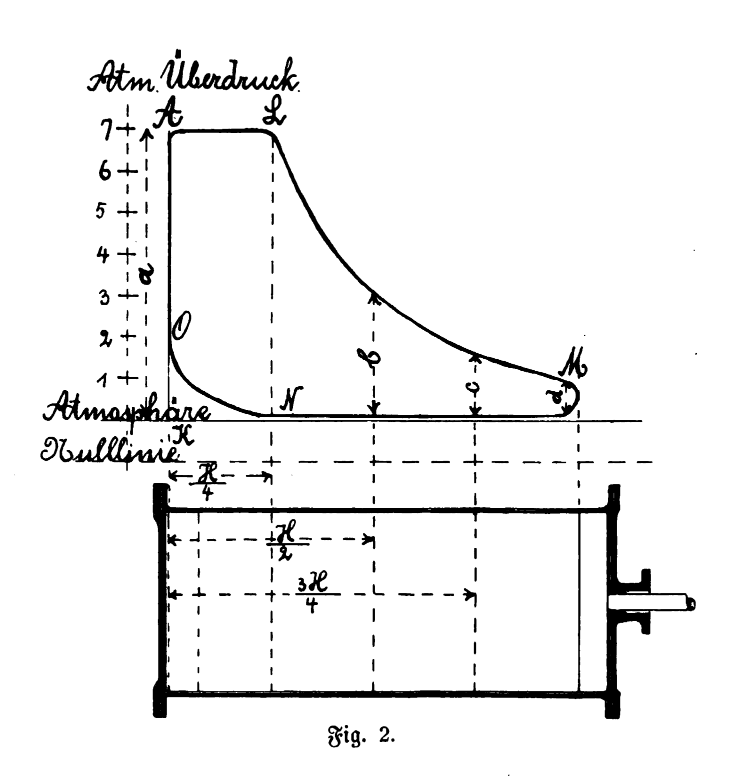


Fig. 2.

Richtung gedreht. Wird nun der Stift e gegen das Papier f auf der Trommel gedrückt, ohne daß Dampf auf den Indikatorkolben gelassen ist, so zeichnet der Stift eine horizontale Linie, die nicht nur genau so lang ist als der Weg des Kreuzkopfes oder des Kolbens, sondern auch einer Pressung von etwa 1 Atm., nämlich dem äußeren Luftdruck, entspricht und deshalb als atmosphärische Linie bezeichnet wird. Wenn die Schnur S nicht an den Kreuzkopf, sondern an einer

Kurbel oder einem Hebel befestigt wird, erhält man eine entsprechend verkürzte Linie im „Diagramm", so heißt das vom Stift gezeichnete Bild. Oeffnet man jetzt den Hahn, so daß der Dampfdruck auf den kleinen Indikatorkolben b wirken kann, so erhält man ein Bild, in welchem die senkrechten Abstände über der atmosphärischen Linie die Größe der Dampfspannung in Atmosphären-Ueberdruck oder in kg auf 1 qcm, sofern sie in dem richtigen Maßstab gemessen werden,

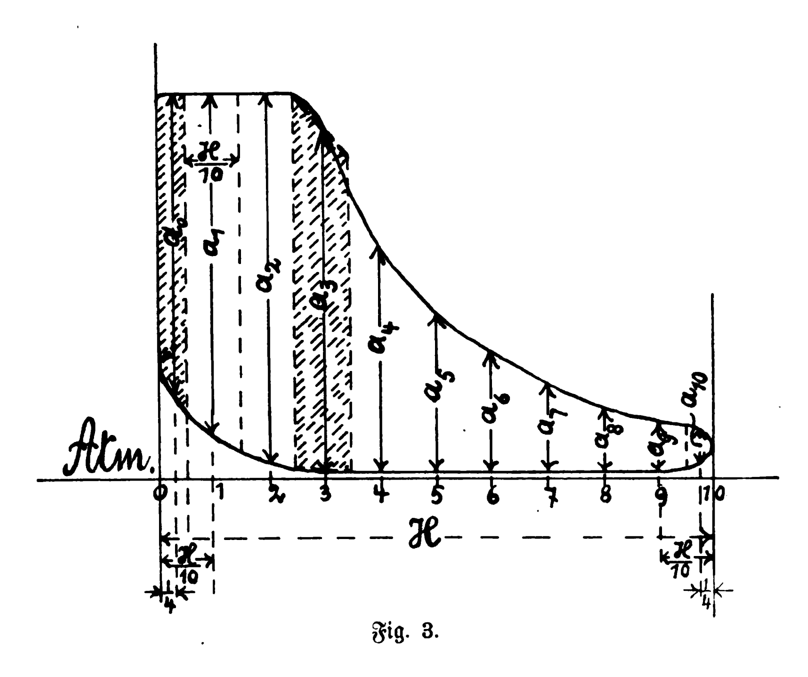


Fig. 3.

angeben und zwar stets an der dazugehörigen Kolbenstellung. Demnach ist in der äußersten Stellung K (Fig. 2) des Dampfmaschinenkolbens (in der Figur links) hinter dem Kolben ein Dampfdruck von der Größe a in Atm. über dem äußeren Luftdruck vorhanden gewesen; dieser hat so lange angehalten, bis der Kolben ein Viertel seines ganzen Weges H zurückgelegt hat. Es ist das die Periode, während welcher auf den Kolben im Zylinder der frische Kesseldampf wirken konnte, also das Dampfeinströmungsventil geöffnet war. In dem Punkte L ist das Dampfeinströmungsventil geschlossen und es beginnt

der Dampf in dem Zylinder zu expandieren, was durch die Kurve L M deutlich angegeben wird. In $\frac{H}{4}$ ist noch der volle Dampfdruck a vorhanden, dieser sinkt allmählich, bis er bei $\frac{H}{2}$ nur noch b und bei $\frac{3}{4}$ H noch c beträgt. In dem Punkte M öffnet sich das Auslaßventil, so daß der Druck von der Spannung d schnell beinahe auf die Spannung des atmosphärischen Luftdrucks herabsinkt. Jetzt geht der Kolben rückwärts (in der Figur von rechts nach links), das Auslaßventil ist geöffnet, so daß der Kolben den Dampf, der schon arbeitete, dadurch hinaustreiben kann. Wenn sich das Auslaßventil, nachdem der Kolben etwa $^3/_4$ seines Weges beim Rückgange zurückgelegt hat, zu schließen beginnt, so entsteht eine kleine Zusammenpressung des noch im Zylinder vorhandenen Dampfes, die sich in dem Diagramm durch die Linie NO bemerkbar macht. Berücksichtigt man, daß die Dampfspannungen in kg in dem Diagramm aufgetragen sind und die Kolbenwege in m, so ist der Inhalt der Figur ALMNO das Produkt aus Kraft und Weg und stellt somit die Arbeit in mkg dar, die der Dampf während eines Kolbenhubes oder einer halben Schwungradumdrehung auf 1 qcm der Kolbenfläche geleistet hat.

Die Fläche des Diagramms wird in folgender Weise ausgerechnet. Man errichtet an den Endpunkten des Hubes (äußerste Grenzen des Diagramms) Senkrechte zur atmosphärischen Linie und teilt die zwischen diesen Punkten gelegene Hublänge H (Fig. 3) in 10 gleiche Teile. Von den beiden äußersten Lotrechten trägt man dann $^1/_4$ eines solchen Teiles nach der Mitte des Diagramms zu ab, nennt die innerhalb der Begrenzungslinien des Diagramms gelegenen Stücke a_0 und a_{10} und bezeichnet die andern Stücke mit a_1, a_2, a_3 . . . bis a_9. Dann ist a_0 die Mittellinie in einem kleinen Trapez, dessen Höhe die Hälfte von $\frac{H}{10}$ ist, wenn mit H wie bisher der ganze Hub bezeichnet wird. Der Inhalt ist also

$$i_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{H}{10} \cdot a_0 = \frac{H}{10} \cdot \frac{a_0}{2}$$

ebenso ist der Inhalt des letzten Trapezes

$$i_{10} = \frac{1}{2} \cdot \frac{H}{10} \cdot a_{10} = \frac{H}{10} \cdot \frac{a_{10}}{2}.$$

Der Inhalt jedes der anderen Trapeze beträgt, weil die Höhe $\frac{H}{10}$ ist,

$$i_1 = \frac{a_1 H}{10}; \; i_2 = \frac{a_2 H}{10}; \; i_3 = \frac{a_3 H}{10} \text{ usw.}$$

Demnach ist der Inhalt J des ganzen Diagramms

$$J = \frac{H}{10}\left(\frac{a_0}{2} + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_8 + a_9 + \frac{a_{10}}{2}\right)$$

Diesen Inhalt J kann man entstanden denken aus einem Rechteck, dessen Grundlinie der Hub H und dessen Höhe der mittlere hinter dem Kolben wirksame Druck p_m ist. Es ist also

$$J = H \cdot p_m$$

und da p_m unbekannt war, so wird dessen Wert

$$p_m = \frac{J}{H}$$

Dividiert man nun den vorhin gefundenen Wert von J durch H, so ist

$$p_m = \frac{1}{10}\left(\frac{a_0}{2} + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_8 + a_9 + \frac{a_{10}}{2}\right)$$

Da bei n Umdrehungen des Schwungrades in der Minute $2 \cdot n$ Hübe vorhanden sind und die Dampfmaschine doppeltwirkend ist, so gibt es in einer Minute 2 n solcher Diagramme. Es ist also die Arbeit für 1 qcm der Kolbenfläche $2 \cdot n \cdot J$. Wenn nun der Kolben einen Durchmesser d in cm hat, so ist dessen Fläche $\frac{d^2\pi}{4}$ *) und somit die ganze vom Kolben in einer Minute geleistete Arbeit $\frac{d^2\pi}{4} \cdot 2 \cdot n \cdot J$; da nun aber die Arbeit in Pferdestärken ausgedrückt werden soll, so muß sie zunächst auf eine Sekunde bezogen, also durch 60 geteilt werden und dann noch durch 75 (75 mkg = 1 PS); demnach ist die Anzahl der mit dem Indikator gemessenen Pferdestärken, der sogenannten indizierten Pferdestärken, die man mit N_i bezeichnet,

---

*) Die Bezeichnung π rührt davon her, daß der Kreisumfang, wenn r den Radius des Kreises bezeichnet, gleich $2 r \pi$ ist. Bisher konnte π nicht genau als Zahlenwert bestimmt werden. Für genauere Rechnungen ist $\pi = 3{,}141593$ . . . . . Für diese hier genügt es vollständig, wenn man $\pi = 3{,}14$ setzt. Der Inhalt des Kreises ist $= r^2\pi$ oder, wenn man $r = \frac{d}{2}$ (Durchmesser mit d bezeichnet) setzt, $= \left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi = \frac{d^2\pi}{4}$

$$N_i = \frac{\frac{d^2 \pi}{4} \cdot 2 \cdot n \cdot J}{60 \cdot 75}$$

oder wenn man den Hub wieder mit H bezeichnet und den mittleren Druck p_m bestimmt hat

$$N_i = \frac{\frac{d^2 \pi}{4} \cdot 2 \cdot n \cdot H \cdot p_m}{60 \cdot 75}.$$

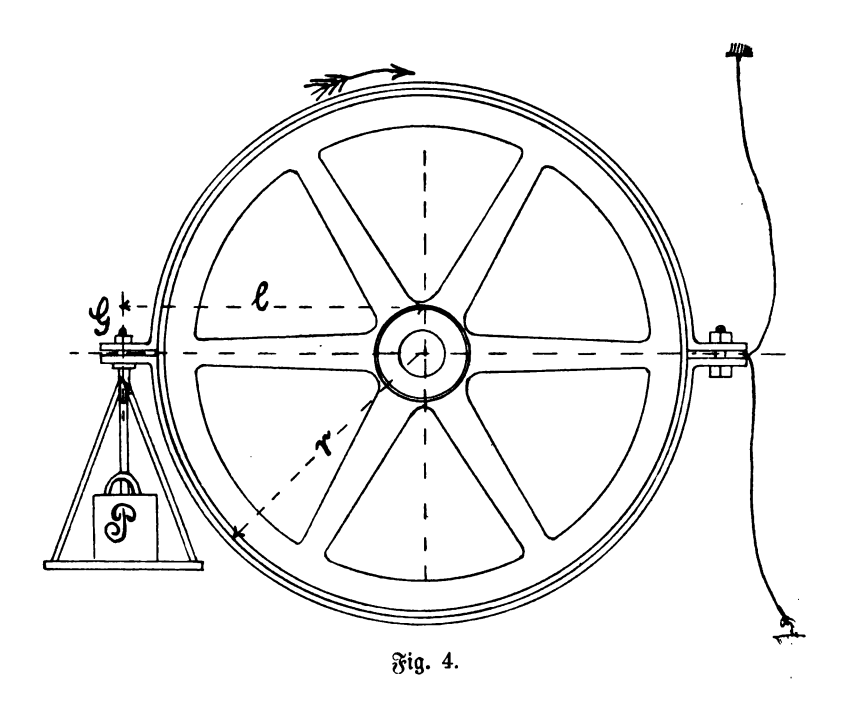


Fig. 4.

Bei einer vorhandenen Maschine sind bekannt der Zylinderdurchmesser d und der Hub H. Durch Versuche werden die Umdrehungszahl n und aus dem Indikatordiagramm der mittere Druck p_m ermittelt.

Es sei beispielsweise an einer Dampfmaschine d = 40 cm, H = 0,7 m. Beim Versuch war n = 85. Der mittlere Druck p_m sei

aus dem Diagramm zu 2,5 kg entsprechend etwa 7 Atm. Kesselspannnng gefunden, dann ist

$$N_i = \frac{\frac{40 \cdot 40}{4} \cdot \pi \cdot 2 \cdot 85 \cdot 0,7 \cdot 2,5}{60 \cdot 75}$$

$$N_i = 83 \text{ PS.}$$

Es ist nun klar, daß ein Teil dieser Leistung in der Dampfmaschine durch Reibungswiderstände, durch die Bewegung von Schiebern oder Ventilen, durch Wärmeverluste usw. verloren geht; es ist daher auch nicht möglich, so viel Pferdestärken einer Maschine zu entnehmen, als mit Hilfe des Indikators ermittelt wurden. Um nun zu sehen, wie viel Pferdestärken von der Maschine abzuleiten sind, wird sie gebremst, d. h. man legt wenn möglich um das Schwungrad ein Stahlband und zieht es so fest an, daß das bewegte Schwungrad einem Gewicht P (Fig. 4), das man bei G anbringt, das Gleichgewicht hält. Dann hat man die ganze in dem Schwungrad enthaltene Arbeit in Reibungsarbeit umgewandelt, die mit dem Gewicht P an dem Hebelarm 1 im Gleichgewicht ist.

Wenn p die Kraft bezeichnet, die am Umfang des Rades mit dem Radius r wirkt, so ist

$$p \cdot r = P \cdot 1 \text{ oder } p = \frac{P \cdot 1}{r}.$$

Der Weg s, der in der Richtung der Kraft p in einer Sekunde zurückgelegt wird, wenn das Schwungrad n Umdrehungen in der Minute macht, ist

$$s = \frac{2 r \pi n}{60}$$

und somit die Arbeit $A = p\, s = \frac{P 1 2 r \pi n}{r 60}.$

In Pferdestärken ausgedrückt ist

$$N_e = \frac{2 P 1 \pi n}{60 \cdot 75}.$$

Es sei nun bei einem Bremsversuche an der vorhin erwähnten Maschine mit $n = 85$, $P = 300$ kg und $1 = 1,8$ m gefunden, dann ist

$$N_e = \frac{2 \cdot 300 \cdot 1,8 \cdot 3,14 \cdot 85}{60 \cdot 75} = 64 \text{ PS.}$$

Da man diese Anzahl von Pferdestärken wirklich ableiten kann, so nennt man sie wirkliche oder effektive Pferdestärken (N_e), auch Nutzpferdestärken.

2

Der Quotient

$$g = \frac{\text{effektive Pferdestärken}}{\text{indizierte Pferdestärken}} = \frac{N_e}{N_i}$$

bezeichnet das Güteverhältnis der Maschine oder den Wirkungsgrad. In dem obigen Beispiel ist

$$g = \frac{N_e}{N_i} = \frac{64}{83} = 0{,}77$$

d. h. es können von der Arbeit, die der Dampf in dem Zylinder leistet, 77% an dem Schwungrad oder der Riemscheibe entnommen werden: demnach gehen 23% durch Reibung, Wärmeverluste ꝛc. in der Maschine selbst verloren. Da der Unterschied zwischen den indizierten und effektiven Pferdestärken ein ziemlich großer ist, so möge jeder, der eine Maschine kaufen will, sich auch vergewissern, welche Art von Pferdestärken ihm angeboten wird.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß beim Reiben zweier Gegenstände aneinander oder beim Schlagen des Hammers auf den Ambos usw. Wärme entwickelt wird. Durch Versuche ist nun festgestellt, daß man durch eine mechanische Arbeit von 424 mkg gerade so viel Wärme erzeugen kann, daß 1 Liter reinen Wassers um 1°*) erwärmt wird. Dieses Verhältnis zwischen mechanischer Arbeit oder, wie man auch sagt, mechanischer Energie und Wärme nennt man das mechanische Wärmeäquivalent. Die Wärmemenge, welche nötig ist, um 1 Liter Wasser um 1° zu erwärmen, heißt Wärmeeinheit oder Calorie und wird mit WE bezeichnet. Somit ist

1 WE = 424 mkg.

Man kann also mechanische Energie in Wärme und umgekehrt Wärme in mechanische Energie umwandeln. Demnach ist die Wärme nur eine besondere Form der mechanischen Energie. Es läßt sich ferner mechanische Energie in Elektrizität umformen, und zwar gilt hier die Beziehung, daß 75 mkg = 736 Voltampere (Watt) sind. (Die Spannung des elektrischen Stroms mißt man durch Volt, ähnlich wie die Spannung des Dampfes durch kg oder Atm., und die Strommenge durch Ampere, wie die Dampfmenge durch kg oder cbm.) Somit ist die Elektrizität wieder nur eine besondere Form der

*) Es ist hier das 100teilige Thermometer (Celsius) gemeint, das heute in Deutschland allgemein maßgebend ist.

mechanischen Energie. Diese läßt sich noch ferner umformen in chemische, magnetische und Licht-Energie. Bei all diesen Umformungen geht an Energie nichts verloren, nur spielen sich die Vorgänge so ab, daß neben der beabsichtigten Energieform auch noch andere auftreten. Ein Beispiel möge verschiedene Umformungen erläutern.

Zu jener Zeit, als die Atmosphäre noch viel mehr Kohlensäure enthielt als heute, als die Erde noch nicht so erkaltet war und die Sonne mehr Wärme spendete, wuchsen gewaltige, unsern Farnen ähnliche Bäume, deren Reste uns heute als Steinkohle so wertvoll sind. Wenn die Sonnenstrahlen die Pflanzenknospen erwärmen, so verdunsten sie etwas von dem darin enthaltenen Saft, es entsteht ein kleines Vakuum, welches nun ausgefüllt wird durch atmosphärische Luft und das durch die Wurzeln emporsteigende Wasser. Luft und Wasser verbinden sich unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen zu Cellulose, indem sie eine chemische Verbindung eingehen, die viel Wärme erfordert; es ist also die Sonnenwärme in der Cellulose oder dem Holzstoff enthalten und somit umgeformt. Der Holzstoff ist uns im wesentlichen in der Kohle erhalten geblieben. Wenn nun die Steinkohle auf dem Rost eines Dampfkessels verbrannt wird, so wird durch einen chemischen Vorgang wieder Wärme erzeugt, die durch ein Zwischenglied, den Wasserdampf, in der Dampfmaschine in mechanische Energie umgeformt wird. Wenn diese Maschine eine Dynamo antreibt, so wird die mechanische Energie der Dampfmaschine in elektrische umgewandelt; wird nun die Elektrizität in eine Akkumulatorenbatterie geleitet, so formt sie sich wieder in chemische Energie um. Diese kann wieder in elektrische umgewandelt werden, die dann durch einen Elektromotor in magnetische und mechanische Energie umzuformen ist. Bei jeder Umformung treten Verluste ein, man hat deshalb auch hier wie bei den Kraftleitungen stets mit dem Wirkungsgrad zu rechnen.

Es möge hier noch erwähnt werden, daß die Lehre von der Erhaltung der Energie, auf welcher unsere heutige Physik aufgebaut ist, und die Lehre von der Erhaltung des Stoffes, die die Grundlage unserer heutigen Chemie bildet, von dem deutschen Arzt Rob. Mayer, geb. 25. November 1814 zu Heilbronn, herrührt.

Bei der Beschaffung von Kraftmaschinen wird sehr häufig nicht allein eine unzweckmäßige Konstruktion gewählt, sondern auch eine zu kleine Maschine, weil der Besteller nicht beachtet, daß durch Riemen-

triebe, Räderpaare rc. eine nicht unbeträchtliche Arbeit verloren geht. So ist z. B.

für Zahnräder der Wirkungsgrad $g = 0{,}95$—$0{,}96$
für Hanf- und Baumwollseile . $g = 0{,}95$—$0{,}96$
für Drahtseile . . . . $g = 0{,}98$
für Riementriebe . . . . $g = 0{,}95$—$0{,}96$.

Wenn also beispielsweise eine Arbeitsmaschine, die selbst 3 Pferdestärken gebraucht, durch einen Riemen von einem Vorgelege ($g = 0{,}95$) angetrieben wird, das wieder durch einen Riemen ($g = 0{,}95$) von der Haupttransmissionswelle bewegt wird, welche durch ein Hanfseil ($g = 0{,}95$) vom Motor die Kraft übertragen erhält, so muß dieser für die Arbeitsmaschine

$$\frac{3\text{ PS}}{0{,}95 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}95} = 3{,}5\text{ PS effektiv}$$

leisten. Es geht also $^1/_2$ effektive Pferdestärke durch die Kraftleitung verloren.

Auf weniger wichtige Begriffe wird gelegentlich der Besprechung der einzelnen Kraftmaschinen eingegangen werden, die sich hier gleich anschließen möge.

I. Lebende Motoren.

§ 4.

Der Mensch als Motor.

Wenn man den Menschen als Motor betrachtet, so müssen sich auch die Kosten ermitteln lassen, welche eine Krafteinheit (effektive Pferdestärke) in der Zeiteinheit (Stunde) verursacht. Die Berechnung muß allerdings in etwas anderer Weise geschehen als bei den eigentlichen Kleinkraftmaschinen. Hier mögen die von Dr. Engel in der Broschüre „Der Preis der Arbeit" entwickelten Gesichtspunkte im allgemeinen als maßgebend berücksichtigt werden.

Das menschliche Leben kann man in Bezug auf die Arbeit in zwei große Perioden einteilen, in die Zeit, während welcher der Mensch unproduktiv ist und Arbeit verbraucht und in die Zeit, während welcher er produktiv ist und Arbeit leistet. Die erste Periode würde das Kindes- und Greisenalter umfassen, während die zweite dem Mannesalter angehört.

Von dem Augenblick der Geburt an bedarf der Mensch der Ernährung, Kleidung, Wartung usw. und verursacht dadurch anderen Menschen Kosten, welche sich in etwa folgender Weise ermitteln lassen.

1.	Von der Geburt bis zum vollendeten fünften Jahre kostet der Unterhalt einschließlich Wartung rc. täglich 0,50 ℳ, oder jährlich 182,50 ℳ, daher für fünf Jahre	912,50 ℳ
2.	Vom vollendeten fünften bis zum vollendeten zehnten Jahre werden täglich etwa 0,70 ℳ Kosten verursacht, sie betragen daher jährlich 255,50 ℳ und für den Zeitraum von fünf Jahren . . .	1277,50 „
3.	Vom vollendeten zehnten bis zum vollendeten fünfzehnten Jahre sind täglich 0,80 ℳ, jährlich 292 ℳ und für den Zeitraum von fünf Jahren erforderlich	1460,00 „
	Der Gesamtbetrag ist daher	3650,00 ℳ

Hierzu würde noch der Betrag kommen, den die Eltern während der Lehrzeit meistens als Zuschuß zum Lebensunterhalt gewähren müssen; er mag während der gewöhnlich 3—4 Jahre dauernden Lehrzeit zu 350 ℳ angenommen werden. Demnach haben die Eltern für den jungen Mann, bis er imstande ist, seinen Unterhalt selbst zu verdienen, 3650 + 350 = 4000 ℳ aufwenden müssen, oder mit anderen Worten, unter den gegebenen Voraussetzungen hat der Mensch schon 4000 ℳ Schulden gemacht, ehe er überhaupt in der Lage ist, sich das zum Leben Erforderliche selbst erwerben zu können. Dieser Betrag erhöht sich auf 5777 ℳ, wenn, wie es eigentlich richtig ist, von dem ersten Augenblicke an Zins auf Zins gerechnet würde. Um indessen die kleinen gelegentlichen Leistungen des Kindes im elterlichen Haushalt zu berücksichtigen, mag der erste Betrag als der am meisten zutreffende angenommen werden.

Während der produktiven Periode, welche man vom vollendeten 19. bis zum vollendeten 59. Lebensjahre rechnen kann, so daß sie einen Zeitraum von 40 Jahren umfaßt, muß nun zunächst der Betrag von 4000 ℳ amortisiert werden. Da der Mensch aber gewissen Zufälligkeiten unterworfen ist, welchen die Maschine im allgemeinen nicht unterliegt, wohin vor allem zu rechnen ist, daß er vor dem Beginn des 60. Lebensjahres sterben oder erwerbsunfähig werden kann, womit die Amortisation seiner Schuld in Frage gestellt wird, so muß er einer Versicherung beitreten, welche den Betrag von 4000 ℳ ent-

weder bei Vollendung des 59. Lebensjahres oder bei dem Tode des Versicherten an die Eltern oder die Erben auszahlt. Hierfür würden jährlich etwa 95 M erforderlich sein. Ferner muß der Mensch während der produktiven Periode sich gegen Krankheit versichern, wofür er zur Krankenkasse jährlich einen Betrag von etwa 15,60 M zu entrichten hat; ebenso würden für Invaliditäts- und Altersversicherung etwa 7,80 M erforderlich werden. Da eine zeitweise Erwerbslosigkeit eintreten kann und ein barer Zuschuß bei Krankheitsfällen, vorzeitiger Invalidität und im Alter trotz der Versicherung erforderlich ist, so sind hierfür jährlich noch 50 M zurückzulegen. Für Steuern und sonstige Abgaben wird man 30 M und für den Lebensunterhalt, für Wohnung, Kleidung, Feuerung, Licht usw., ohne hier die einzelnen Beträge näher anzuführen, wenigstens 700 M jährlich zu rechnen haben, so daß sich hieraus ein Gesamtbetrag von 95 + 15,60 + 7,80 + 50 + 30 + 700 M = 897,40 M oder rund 900 M ergibt. Unter der Annahme, daß jährlich (ausschließlich der Tage für Krankheit, Erwerbslosigkeit 2c.) 300 Arbeitstage vorhanden sind, wird der Mensch also täglich $\frac{900}{300} = 3$ M verdienen müssen. Dieser Wert würde auch recht gut noch für solche Leute zutreffend sein, welche nicht als Lehrlinge gearbeitet haben, da gerade diese Arbeiter infolge ihrer wechselnden Beschäftigung häufig die Zahl von 300 Arbeitstagen nicht erreichen.

Nach den hier gemachten Voraussetzungen würde der Mensch mit der Zeit völlig verarmen, wenn er die erwähnten 3 M täglich nicht verdiente. Es ist daher gewiß gerechtfertigt, von diesem Lohnsatz als Minimalarbeitsverdienst bei der Berechnung der Kosten des Menschen als Motor auszugehen.

Es fragt sich jetzt nur noch, wie viel mechanische Arbeit für diesen Lohnsatz wirklich geleistet wird. Nach Versuchen von Köpcke kann ein Mann in 10 Stunden an der Kurbel der Kunstramme 180 000 mkg leisten, während von anderer Seite die Leistung auf 229 000 mkg in 8 Stunden angegeben wird; als mittleren Wert kann man daher 200 000 mkg in 9 Stunden oder in $9 \cdot 60 \cdot 60 = 32\,400$ Sekunden ansehen. In Pferdestärken umgerechnet, würde diese Leistung einen Wert von

$$\frac{200\,000}{32\,400 \cdot 75} = 0{,}082 \text{ Pferdestärken}$$

ergeben. Demnach kosten 0,082 Pferdestärken täglich 3 ℳ; nimmt man eine tägliche Arbeitszeit von 10 Stunden an, so kosten 0,082 Pferdestärken stündlich $\frac{3{,}00}{10} = 0{,}3$ ℳ oder eine Pferdestärke in einer Stunde

$$\frac{1}{0{,}082} \cdot 0{,}3 = 3{,}66 \text{ ℳ}$$

Mit diesem Werte werden die Betriebskosten der übrigen Kleinkraftmaschinen zu vergleichen sein.

§ 5.

Das Pferd als Motor.

Ein gutes, starkes Pferd kann am Göpel täglich 8 Stunden im Schritt arbeiten und dabei 1 116 000 mkg leisten, also in einer Stunde den 8. Teil = 145 750 mkg. Da die Leistung in Pferdestärken auszudrücken ist, so muß dieser Wert noch auf 1 Sekunde bezogen, also durch 60×60 und dann noch durch 75 geteilt werden; die Leistung A eines Pferdes ist somit

$$A = \frac{145\,750}{60 \cdot 60 \cdot 75} = 0{,}54 \text{ PS}$$

d. h. das Pferd leistet nur etwas mehr als $^1/_2$ Pferdestärke.

Die Betriebskosten berechnen sich in folgender Weise. Ein dreijähriges kaltblütiges Gebrauchspferd kostet rd 1000 ℳ Es kann etwa 15 Jahre lang arbeiten, dann muß es durch ein neues ersetzt werden. Für die Berechnung werde angenommen, daß es dann keinen Wert mehr habe. Demnach entfallen jährlich auf

1. Amortisation $\frac{1000}{15}$	ℳ	66,67
2. Verzinsung $\frac{1000 \cdot 5}{100}$	„	50,—
3. Unterhaltung, Futter, Stall, Streu, Beschlag, Versicherung, Tierarzt	„	700,—
4. Wartung und Pflege, wenn hierfür, wie üblich, $^1/_2$ männliche Arbeitskraft gerechnet wird, 365 Tage zu $\frac{2{,}50}{2}$	„	456,25
Zusammen . .	ℳ	1272,92

Hierfür werden geleistet in 300 Tagen zu 10 Stunden 0,54 PS. Demnach kostet 1 Pferdekraft in einer Stunde

$$1 \text{ PS} = \frac{1272{,}92}{300 \cdot 10 \cdot 0{,}54} = 0{,}78 \text{ ℳ}$$

sie ist also schon erheblich billiger als die vom Menschen geleistete Arbeit, die 3,66 ℳ kostete.

II. Belebte Motoren oder Kraftmaschinen.

§ 6.

Wasserkraftmaschinen.

Wie schon im § 1 erwähnt wurde, gab es 1895 im Deutschen Reich 53 908 Wasserkraftmaschinen, die 626853 Pferdestärken leisteten, demnach lieferte jede etwa $11^1/_2$ PS. Da für die Kleinbetriebe die Turbinen mit ihren großen Leistungen nicht wesentlich in Frage kommen und Wasserdruckmotoren nur ganz vereinzelt da benutzt werden, wo eine Wasserleitung mit hohem Druck vorhanden ist, so wären hier nur kurz die Wasserräder zu erwähnen.

Die Leistung eines Wasserrades ergibt sich theoretisch aus der Wassermenge Q in cbm, die sekundlich dem Rade zugeführt wird, und der Gefällhöhe H in m, das ist der Unterschied zwischen den Wasserspiegeln im Ober- und Untergraben. Da 1 cbm Wasser 1000 kg wiegt, so ist die Arbeit A, die die Wassermenge Q verrichtet, wenn sie H Meter in einer Sekunde hinabfällt

$$A = 1000 \, Q \, H$$

oder in Pferdestärken ausgedrückt

$$N = \frac{1000 \, Q \, H}{75}.$$

Beim Zufluß des Wassers zum Rade, bei der Bewegung des Wassers in den Radschaufeln und der Bewegung des Rades im Unterwasser usw. treten Effektverluste auf, so daß die Nutzleistung eines Wasserrades nur

$$N_e = g \, \frac{1000 \, Q \, H}{75}$$

wird, worin g das Güteverhältnis oder der Wirkungsgrad des Rades ist.

Nach der Zuführung des Wassers kann man die Wasserräder einteilen:

1. in oberschlächtige Wasserräder, das sind solche, bei denen das Wasser am Scheitel des Rades zugeführt wird; sie werden verwendet bei Gefällhöhen von 3—12 m und bei einer Wassermenge bis zu 0,7 cbm in der Sekunde, sie haben dann je nach der Gefällhöhe einen Wirkungsgrad g = 0,6—0,8;

2. in mittelschlächtige Wasserräder, das sind solche, bei denen das Wasser etwa in der halben Höhe des Rades zugeführt wird; sie werden verwendet bei Gefällhöhen von 1,5—4 m und bei Wassermengen von 0,5—2,5 cbm und liefern dann, wenn der Wasserzufluß durch besonders geformte, horizontale Leitschaufeln (Kulissen) stattfindet, ein g = 0,65—0,7 und wenn der Wasserzufluß nur durch Überfall erfolgt, ein g = 0,6—0,65;

3. in unterschlächtige Wasserräder, das sind solche, bei denen das Wasser am Fuß des Rades zugeführt wird; sie werden verwendet bei Gefällhöhen bis 0,9 m und bei Wassermengen bis 5 cbm, sie haben dann ein g = 0,3—0,4.

Eine besondere Art dieser Räder bildet das Ponceletrad, das nach bestimmten Regeln geformte Schaufeln an seinem Umfang hat. Es kann bei Gefällhöhen von 0,7—1,5 m und bei Wassermengen von 1—5 cbm verwendet werden und liefert dann ein g = 0,6—0,7.

Für die Ermittelung der Leistung eines Wasserrades ist die Bestimmung der Wassermenge Q mit einigen Schwierigkeiten verknüpft. In vielen Fällen genügt es, wenn man eine Stelle des Baches aussucht, an welcher der Bachquerschnitt auf 10—30 m Länge möglichst der gleiche ist und mittels eines schwimmenden Gegenstandes die Geschwindigkeit des fließenden Wassers bestimmt, also den Weg in m ermittelt, den der Gegenstand und somit auch das Wasser in einer Sekunde zurücklegt. Sodann spannt man über den Bach an dieser Stelle ein Bandmaß und mißt in gleichen Abständen (etwa von 0,5 m zu 0,5 m) die Wassertiefen, trägt sie auf Papier auf und stellt so eine Figur her, die dem Querschnitt des Baches entspricht. Ihren Inhalt ermittelt man durch Zerlegung der ganzen Figur in Dreiecke und Rechtecke, deren Inhalt man mit den vorhandenen Maßen bestimmen kann. Es sei beispielsweise die Wassergeschwindigkeit zu 0,5 m und der Querschnitt des Baches zu 1,9 qm gefunden worden, dann wird in jeder Sekunde an dieser Stelle eine Wassermenge Q

vorbeifließen, die dem Inhalte eines Prismas von 1,9 qm Querschnitt und 0,5 m Höhe entspricht. Die sekundliche Wassermenge ist also

$$Q = 1{,}9 \cdot 0{,}5 = 0{,}95 \text{ cbm}.$$

Steht nun eine Gefällhöhe von 2 m zur Verfügung, so könnte ein mittelschlächtiges Wasserrad mit Kulisseneinlauf verwandt werden, das dann bei $g = 0{,}65$

$$N_e = g \frac{1000\, Q\, H}{75} = 0{,}65 \frac{1000 \cdot 0{,}95 \cdot 2}{75}$$

$$N_e = 16{,}4 \text{ PS}.$$

leisten würde.

Die Wassermenge, die zur Verfügung steht, ist aber starken Schwankungen unterworfen; im Sommer, mitunter auch im Winter, fehlt es längere Zeit hindurch fast ganz an Wasserzufluß, im Frühling und Herbst ist er dagegen im Übermaß vorhanden. Man muß deshalb in der Nähe des Wasserrades einen Teich haben, in dem so viel Wasser angesammelt werden kann, daß ein ununterbrochener Betrieb wenigstens von einigen Stunden möglich ist. Diese Teiche reichen aber für einen geregelten Betrieb noch keineswegs aus; es werden deshalb jetzt da, wo die genügende Anzahl von Gewerbebetrieben vorhanden ist und die Bodengestaltung es gestattet, Talsperren angelegt, das heißt, es wird an geeigneter Stelle quer durch ein Tal eine mächtige Mauer gezogen, hinter der in regenreichen Zeiten die Niederschläge gesammelt werden, um in trocknen Zeiten den zu speisenden Bächen nach und nach wieder zugeführt zu werden. Hierdurch wird es möglich, den Wassertriebwerken stets annähernd dieselbe Wassermenge während der ganzen Betriebszeit zur Verfügung zu stellen.

Es wären jetzt die Betriebskosten für das vorhin angegebene Rad zu ermitteln. Der Preis eines mittelschlächtigen eisernen Rades von etwa 4,5 m Durchmesser und 2 m Breite beträgt 3900 *M*, für den Kulisseneinlauf kommen noch etwa 900 *M* und für die Fundamentierungsarbeiten 1200 *M* hinzu, demnach kostet das betriebsfertige Rad 6000 *M*. Dabei ist vorausgesetzt, daß ein Teich mit dem erforderlichen Unter- und Oberwassergraben und ein Stauwehr vorhanden sind. Wenn eine Talsperre fehlt, so wird für das Wasserrad während etwa 1200 Stunden im Jahre das erforderliche Wasser vorhanden sein. Es ergibt sich also folgende

Betriebskostenberechnung für ein Wasserrad ohne Talsperre.

1. Amortisation $\frac{6000}{15} =$ . . . M 400
2. Verzinsung $\frac{6000}{100} \cdot 5 =$ . . . . „ 300
3. Reparaturen, Schmiermaterial 2c. „ 150

Zusammen M 850

Dafür werden geleistet 16,4 PS während 1200 Stunden, es kostet somit

1 PS in 1 Stunde $\frac{850 \text{ M}}{16{,}4 \cdot 1200} = 0{,}043 \text{ M} = 4{,}3$ Pfennig.

Sobald aber eine Talsperre vorhanden ist, wird der Besitzer des Wasserrades an die betreffende Baugenossenschaft einen jährlichen Beitrag zu zahlen haben, der sich nach der Höhe der Baukosten 2c. richtet. Gesetzt, der obige Gewerbetreibende müsse jährlich 300 M Beitrag entrichten, wofür er dann allerdings im Jahre 3000 Stunden arbeiten kann, dann ergibt sich folgende

Betriebskostenberechnung für ein Wasserrad mit Talsperre.

1.	Amortisation wie vorher	M	400
2.	Verzinsung	„	300
3.	Reparaturen, Schmiermaterial 2c. .	„	200
4.	Beitrag für die Talsperre	„	300
	Zusammen	M	1200

Dafür werden geleistet 16,4 PS während 3000 Stunden, demnach kostet

1 PS in einer Stunde $\frac{1200 \text{ M}}{16{,}4 \cdot 3000} = 0{,}024 \text{ M} = 2{,}4$ Pfennig.

Der Wasserradbesitzer spart also trotz seiner Mehrausgaben an Talsperrenbeitrag an jeder Pferdekraft in jeder Stunde 4,3—2,4 = 1,9 Pfg., das macht im Jahre etwa 900 M. In der Verbilligung der Betriebskosten durch einen regelmäßigen Betrieb und den damit noch zusammenhängenden weiteren Vorteilen liegt die ungeheure Bedeutung der Talsperren, mit deren Bau man hoffentlich auch dazu übergehen wird, zweckentsprechende Wasserräder zu verwenden, was leider bis jetzt noch recht wenig der Fall ist.

§ 7.

Windkraftmaschinen.

Im Jahre 1895 waren im Deutschen Reiche 18 242 Windmotoren vorhanden, von denen 15 638 allein auf die Gruppe Nahrungs- und Genußmittel entfallen und deshalb wohl zum Mahlen von Getreide dienten.

Zum Antrieb von Arbeitsmaschinen für das Kleingewerbe kommen Windräder kaum in Frage, weil die Kraftquelle — der Wind — in Stärke und Richtung zu großen Schwankungen für einen geregelten Betrieb unterworfen ist. Sehr häufig haben deshalb die Getreidemühlen zur Aushilfe in der windstillen Zeit noch einen anderen Motor — Dampfmaschine, Benzinmotor usw. — in Reserve aufgestellt. Es erübrigt daher hier weiter auf diese Motoren einzugehen.

Wärmekraftmaschinen.

A. Mit indirekter Ausnutzung der erzeugten Wärme.

§ 8.

a) Dampfmaschinen.

I. Allgemeines.

Die ersten Anfänge zur Ausnutzung der Spannkraft des Wasserdampfes werden gewöhnlich bis auf Hero von Alexandrien (geb. 120 v. Chr.) zurückgeführt, jedoch gelang es erst dem Engländer Newcomen eine brauchbare Dampfmaschine zu konstruieren. Seine Erfindung war durch Patent von 1705 geschützt und bestand darin, daß er in einem stehenden, oben offenen Zylinder, dessen Kolben durch Gegengewichte stets nach oben gezogen wurde, von unten etwas Dampf eintreten ließ; dann spritzte er Wasser in den Dampfraum, so daß der Dampf kondensierte und dadurch einen stark luftverdünnten Raum erzeugte, worauf dann die atmosphärische Luft den Kolben arbeitverrichtend abwärts bewegte. Diese Maschine ist in Bergwerken und auch sonst mannigfach benutzt worden, obwohl ihre Leistung nur gering war. Erst James Watt erfand 1769 die einfach- und 1781 die doppeltwirkende Dampfmaschine, d. h. er benutzte die Spannkraft des Wasserdampfes hinter dem Kolben nicht zur Erzeugung einer Luftverdünnung, sondern als treibende Kraft. Seitdem sind die Dampf-

maschinen sowohl in der Verteilung des Dampfes (Doppelschiebern, zwangläufigen Ventilsteuerungen usw.) als auch in seiner Ausnutzung (Verbundmaschinen, mehrfache Expansionsmaschinen usw.) außerordentlich vervollkommnet. Den Vorteil von all diesen Erfindungen hat aber nur die Großindustrie gehabt, weil die meisten Verbesserungen an kleinen Dampfmaschinen nicht angewendet werden können. Bevor ich indessen dazu übergehe, einzelne Maschinen zu besprechen, sind noch einige allgemeine Bemerkungen nötig.

Um eine Dampfmaschine betreiben zu können, ist ein Dampfentwickler (Dampfkessel) erforderlich, dessen Betrieb für die Arbeiter, Nachbarn oder das Publikum Gefahren mit sich bringt, indem er explodieren und dabei große Verwüstungen anrichten kann. Deshalb ist auch schon in der preußischen Gewerbeordnung vom 17. Januar 1845 vorgeschrieben, daß zur Aufstellung von „Dampfmaschinen, Dampfkesseln und Dampfentwicklern" eine besondere gewerbepolizeiliche Erlaubnis erforderlich ist. Nach der Gewerbeordnung vom 21. Juni 1869 sind nur noch die „Dampfkessel", d. h. Gefäße, in denen Dampf aus Wasser durch Feuer hergestellt und denen der Dampf planmäßig entzogen wird, genehmigungspflichtig. Der Antrag zur Aufstellung eines Dampfkessels ist bei dem zuständigen Dampfkessel-Ueberwachungsverein anzubringen, der ihn an die königl. Gewerbeinspektion weitergibt. Diese reicht ihn bei der genehmigenden Behörde (Kreis- oder Stadtausschuß) ein, die dann die Urkunde ausfertigt. Bei der Aufstellung sind die allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Dampfkesseln vom 5. August 1890 zu beachten.

Wer einen Dampfkessel ohne die dazu erforderliche Genehmigung errichtet, wird nach § 147 Abs. 1 Nr. 2 der Reichsgewerbeordnung mit Geldstrafe bis 300 ℳ oder entsprechender Haft bestraft.

Die Dampfkessel müssen nach dem preußischen Gesetz vom 3. Mai 1872 regelmäßig auf ihre Betriebssicherheit untersucht werden. Diese Revisionen führen die Dampfkessel-Ueberwachungsvereine gegen Entrichtung eines jährlichen Beitrages aus. Die Vorbereitungen hierzu verursachen mitunter nicht unerhebliche Kosten und unliebsame Betriebsstörungen.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Dampfmaschinen ist noch eine kleine Betrachtung nötig.

Wenn 1 Liter Wasser um 1° erwärmt werden soll, so ist dazu eine Wärmemenge nötig, die man als Wärmeeinheit WE bezeichnet. (§ 3.)

Hat das zu verdampfende Wasser 0° Wärme, so sind 100 WE erforderlich, um es auf eine Temperatur von 100° zu bringen; will man es nun in Dampf verwandeln, so sind hierzu noch weitere 536 WE nötig, also im ganzen 636 WE. erforderlich. Jetzt hat man erst Dampf von 100°. Soll dieser Arbeit verrichten, so muß er auch Spannung erhalten, es muß also noch mehr Wärme zugeführt werden. Beispielsweise hat der Dampf von

Atm. absol. Spannung	Temperatur v.	u. WE	Unterschied
1	100°	636,7	
2	120°	642,9	
4	143°	650,1	= 7,2 WE
6	158°	654,7	= 4,6 „
8	169°	658,2	= 3,5 „
10	179°	661,1	= 2,9 „
12	187°	663,5	= 2,4 „

Hieraus geht deutlich hervor, daß, je höher die Dampfspannung genommen wird, um so geringer wird die erforderliche Wärmemenge, demnach ist es vorteilhaft, hohe Dampfspannungen zu verwenden. Da man bei den Auspuffdampfmaschinen mindestens wieder Dampf von 100° aus dem Zylinder entweichen läßt, so kann man aus vorstehender Übersicht entnehmen, wie viel Wärmeeinheiten in der Maschine ausgenutzt werden können. Es sei zum Beispiel in dem Zylinder einer Dampfmaschine ein Anfangsdruck von 8 Atm. absolut vorhanden, also 7 Atm. über den äußeren Luftdruck, so würden im günstigsten Falle (ohne das Vorhandensein von Wärmeverlusten 2c.) 658,2—636,7 = 21,5 WE oder nur 3,3% der im Dampf enthaltenen Wärme ausgenutzt werden können.

Bei der Erzeugung des Dampfes treten ebenfalls große Energieverluste auf. Wenn 1 kg Steinkohle auf dem Rost eines Dampfkessels verbrannt wird, so werden dadurch etwa 7200 WE erzeugt, von denen aber bei kleineren Maschinen nur etwa 3600 WE zur Erwärmung des Wassers im Dampfkessel dienen, während etwa 3600 WE durch den Schornstein mit den Verbrennungsgasen abgeführt werden oder durch Strahlung verloren gehen.

Bekanntlich haben die Lokomobilen von R. Wolf in Magdeburg—Buckau hinsichtlich ihrer Wärmeausnutzung mehrfach die Konkurrenz geschlagen. Eine 100pferdige Sattdampf-Verbund-Lokomobile Nr. 3620 hat nach den Untersuchungen des Magdeburger Vereins für Dampfkesselbetrieb in einer Stunde für eine nutzbare Pferdestärke 0,925 kg Kohlen verbraucht, von denen 1 kg beim Verbrennen 7282 WE

entwickelte. In einer Sekunde sind also $\frac{0,925 \cdot 7282}{60 \cdot 60}$ WE erzeugt worden, und da das mechanische Wärmeäquivalent 1 WE = 424 mkg ist, so entspricht dieser Wert einer Arbeit von $\frac{0,925 \cdot 7282 \cdot 424}{60 \cdot 60}$ = 792,9 mkg. Mit der Kohlenmenge von 0,925 kg wurde eine Nutzleistung von 1 PS = 75 mkg erzielt, folglich wurden nur $\frac{75 \cdot 100}{792,9} = 9,46\,\%$ der erzeugten Wärme ausgenutzt. Den Ausdruck $\frac{\text{erzeugte Energie}}{\text{nutzbare Energie}}$ bezeichnet man mit g_w und nennt ihn den wirtschaftlichen Wirkungsgrad. Im vorliegenden Falle wäre also $g_w = \frac{75}{792,9} = 0,094$. Dieser sinkt noch ganz erheblich bei kleineren Dampfmaschinen. Eine 10pferdige Wolf'sche Sattdampf-Lokomobile verbrauchte für eine Bremspferdestärke 2,08 kg Kohlen, welche einer Arbeit von $\frac{2,08 \cdot 7282 \cdot 424}{60 \cdot 60} = 1784$ mkg entsprachen. Der wirtschaftliche Wirkungsgrad ist demnach $g_w = \frac{75}{1784} = 0,042$, d. h. 95,8 % der auf dem Rost erzeugten Wärme oder der mechanischen Energie gehen verloren. Wahrlich eine furchtbare Verschwendung.

Neuerdings wird eine bessere Wärmeausnutzung dadurch erzielt, daß der Dampf, bevor er in den Zylinder gelangt, getrocknet und überhitzt wird, indem man ihn durch ein Rohrsystem leitet, das außen von den heißen Feuergasen umspült wird. Dieser Dampfüberhitzer wird gewöhnlich da angebracht, wo die Rauchgase den Dampfkessel verlassen. Der Dampf erhält darin eine Temperatur bis 350°. Selbstredend ist es unter solchen Verhältnissen nicht leicht, für eine genügende Zylinderschmierung der Dampfmaschine zu sorgen.

Der pfälzische Dampfkessel-Revisions-Verein hat eine Heißdampf-Verbund-Ventil-Lokomobile mit Kondensation von etwa 130 PS der Firma Heinrich Lanz, Mannheim, untersucht und dabei gefunden, daß für eine effektive Pferdekraft in einer Stunde nur 0,52 kg Kohlen verbraucht wurden. In dieser Kohlenmenge ist eine sekundliche mechanische Arbeit von $\frac{0,52 \cdot 7282 \cdot 424}{60 \cdot 60} = 446$ mkg ent-

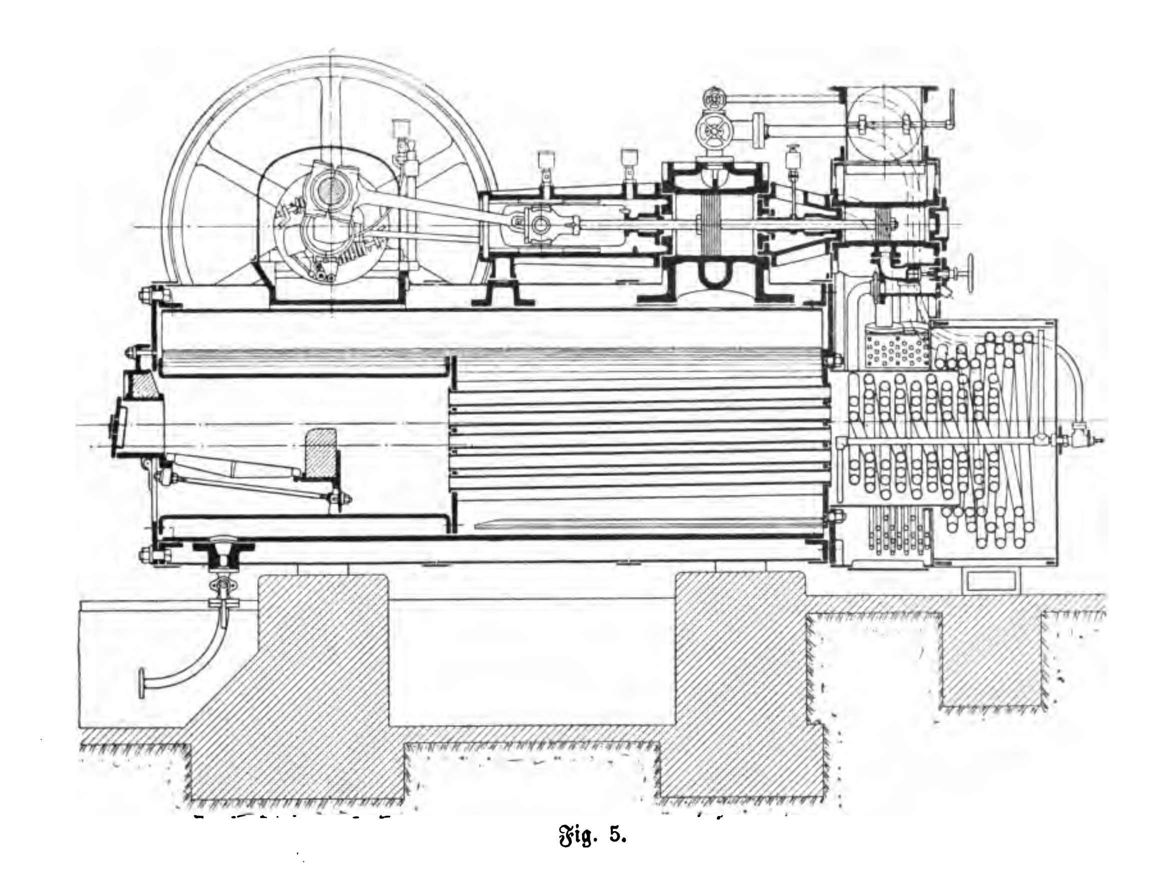


Fig. 5.

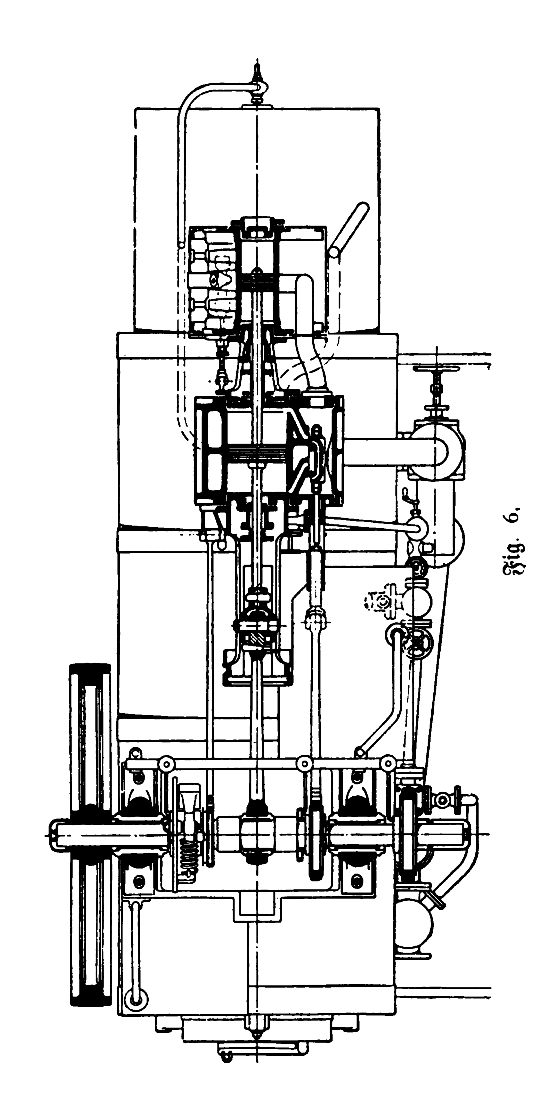


Fig. 6.

halten, demnach wird der wirtschaftliche Wirkungsgrad $g_w = \frac{75}{446} = 0,168$ d. h. es gehen noch 83,2 % der in der Kohle enthaltenen Wärme verloren. Es ist aber immerhin eine bessere Ausnutzung der Wärme von ungefähr 16,8—9,46 = 7,3 % erzielt worden.

Berücksichtigt man, daß die vorhin erwähnte 100pferdige Lokomobile rd. 0,93 kg Kohlen verbraucht und die Heißdampflokomobile nur rd. 0,55 kg, so ist eine Ersparnis von 0,38 kg für eine Pferdekraft in einer Stunde erreicht worden, das ist bei 100 Pferdestärken und einer täglichen Arbeitszeit von 10 Stunden an 300 Tagen eine Ersparnis von $0,38 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 300 = 114\,000$ kg. Kosten 100 kg 2 *M*, so ist das ein Betrag von 2280 *M*. Davon gehen allerdings noch die geringen Mehrkosten für Amortisation, Verzinsung 2c. ab. Diese kleine Rechnung zeigt deutlich die Bedeutung der Heißdampflokomobile.

Da es nicht mehr angängig erscheint, den Begriff des Kleingewerbes eng zu fassen und alles, was mit Motoren und Arbeitsmaschinen arbeitet, also sich den jetzigen Kulturverhältnissen anpaßt, als Fabrikbetrieb anzusehen, so sollen auch Motoren berücksichtigt werden, deren Leistung über 6 PS hinausgeht.

Die Dampfmaschine kann in manchen Betrieben nicht entbehrt werden, weil sie eine außerordentlich große Kraftreserve bietet; so kann z. B. eine nominell 18pferdige Maschine dauernd auch mit 25 PS und vorübergehend mit 30 PS belastet werden, ohne daß dadurch der Brennmaterialverbrauch wesentlich ungünstiger würde; es ist das eine Kraftreserve von über 60 %, während man bei den Explosionsmotoren nur eine solche von 10 % hat. Es wird ferner bei den letzteren Motoren, wenn sie nicht voll ausgenutzt werden, der Brennmaterialverbrauch erheblich ungünstiger. Wenn ferner der Abdampf noch mit gutem Vorteil verwendet werden kann, wird auch nicht auf die Dampfmaschine verzichtet werden können.

II. Besondere Ausführungsweisen.

1. R. Wolf, Magdeburg-Buckau.

In Fig. 5 ist die Anordnung einer ortsfesten Dampfmaschine mit Ueberhitzer wiedergegeben, und zwar ist es ein Querschnitt durch die Mitte in der Längsrichtung und Fig. 6 eine Aufsicht auf den Kessel mit horizontalem Schnitt durch die Dampfzylinder und die Kurbelachse. Da die Einrichtung einer Dampfmaschine allgemein bekannt ist, so sei

hier nur erwähnt, daß das Brennmaterial (Steinkohle ꝛc.) durch die in Fig. 5 links dargestellte Feuertür eingegeben wird, auf dem Rost in der runden Feuerbuchse verbrennt und dabei Gase entwickelt, die durch ein System von Heizröhren der rechts gelegenen Rauchkammer zugeführt werden. Die bei der Verbrennung entstehende Wärme dringt durch die Wandungen der Feuerbuchse und Heizrohre und bringt das auf der anderen Seite befindliche Wasser zum verdampfen. Der so erzeugte Wasserdampf wird, bevor er in dem Dampfzylinder arbeitet, durch ein System von Schlangenröhren geleitet, das von den noch etwa 400° warmen Verbrennungsgasen in der Rauchkammer umspült werden muß, wodurch der Dampf getrocknet wird und eine höhere Temperatur (etwa 350°) erhält, als seiner Spannung entspricht (überhitzt wird). Der so überhitzte Dampf wird dann in einen Hochdruckdampfzylinder geleitet, in dem er den Kolben in bekannter Weise treibt. Dieser Zylinder ist über dem Ueberhitzer ebenfalls in der Rauchkammer angeordnet und wird durch die abziehenden Rauchgase vor Wärmeverlusten geschützt. Der Dampf tritt, wenn er seine Arbeit verrichtet hat, in den Niederdrucküberhitzer ein, der zum Teil um den Hochdrucküberhitzer angeordnet aber von diesem durch eine zylindrische Blechwand getrennt ist. Er ist kenntlich an den engeren, parallel zu einander angeordneten Rohren. Aus dem Niederdrucküberhitzer tritt der Dampf in den Niederdruckzylinder (den größeren der beiden hintereinander angeordneten Dampfzylinder) und treibt darin ebenfalls den Kolben. Der Abdampf aus diesem Zylinder tritt entweder ins Freie (Auspuffmaschine) oder wird wie bei der abgebildeten Maschine kondensiert (Kondensationsmaschine). Der Niederdruckdampfzylinder wird durch den Kesseldampf ebenfalls vor Abkühlung geschützt. Eine Anordnung der Zylinder hintereinander nennt man Tandem-Anordnung*). Von den Kolben wird die hin- und hergehende Bewegung durch eine Schubstange und Kurbel auf die Kurbelwelle und das Schwungrad übertragen, von wo die Leistung der Maschine abgenommen und beliebig verwertet werden kann.

Josse hat eine solche Dampfmaschine mit Einspritzkondensation Nr. 9434 eingehend untersucht und dabei gefunden, daß sie bei einer

*) Das Wort „Tandem" kommt aus England, wo man damit ein zweiräderiges Gefährt bezeichnet, bei dem ein Pferd vor dem anderen angespannt ist (nicht nebeneinander).



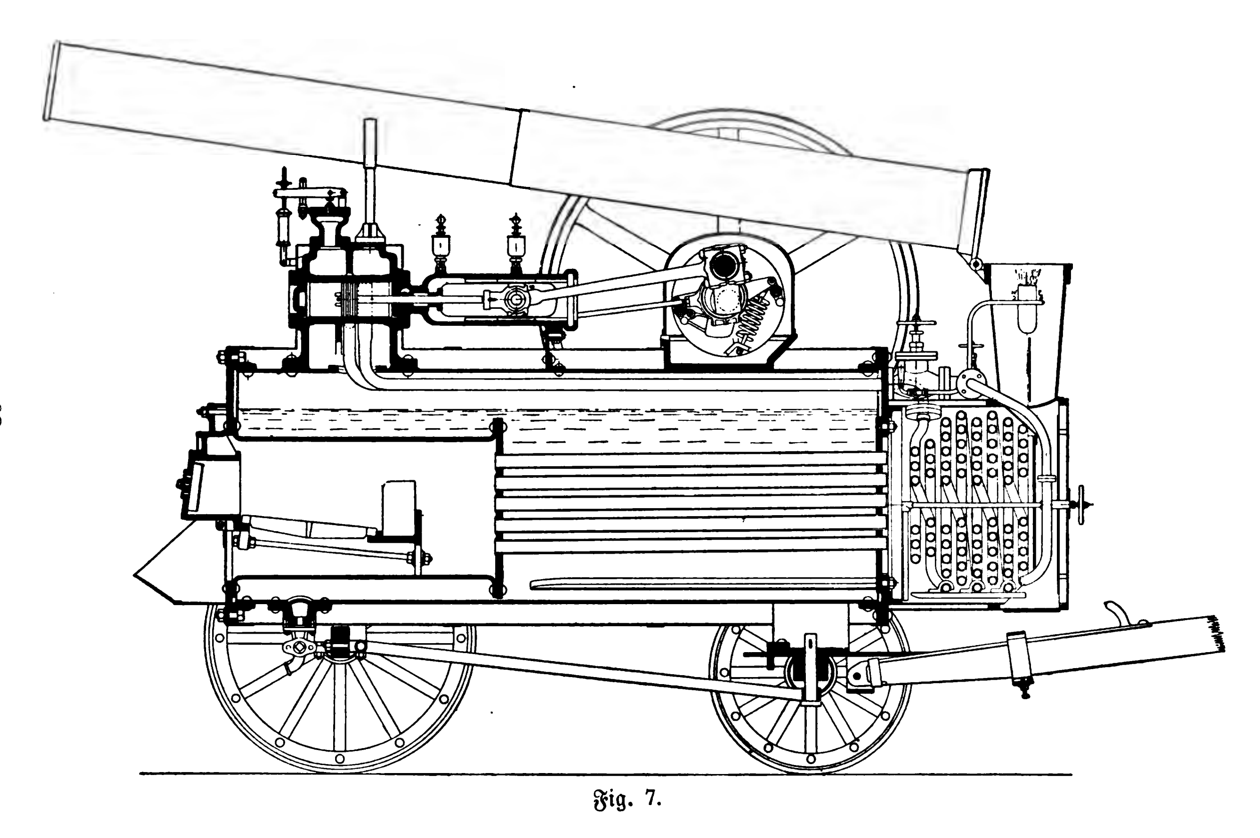


Fig. 7.

indizierten Leistung $N_i = 47$ PS eine Bremsleistung $N_e = 43{,}2$ PS hatte und somit eine Güteverhältnis

$$g_w = \frac{43{,}2}{47} = \infty 0{,}92$$

aufwies. Dabei war der Kohlenverbrauch für die Stunde und effektive Pferdestärke 0,6 kg. Es wurde eine Ruhrkohle gefeuert, von der 1 kg beim Verbrennen 7873 WE lieferte. Der Dampfkessel und die Ueberhitzer hatten einen Wirkungsgrad von 75,4, also sehr günstig. Der Wirkungsgrad der gesamten Anlage war 13,4. Der stündliche Schmierölverbrauch betrug für die effektive Pferdestärke in der Stunde 3,95 g, verdampft wurden 8,06 kg Wasser von 0° in Dampf von 100°. Dieselbe Dampfmaschine wurde dann stärker beansprucht und zwar mit $N_e = 53{,}5$ und lieferte dabei noch bessere Ergebnisse.

Vergleicht man diese Resultate mit denen älterer Dampfmaschinen, so wird man finden, daß einem Unternehmer nicht dringend genug abgeraten werden kann, gebrauchte veraltete Maschinen zu kaufen, weil sie stets teurer arbeiten als diese modernen, selbst wenn sie nur wenig Geld kosten. Eine ähnlich konstruierte alte Maschine erforderte für eine effektive Pferdekraft in einer Stunde 1,3 kg Steinkohlen, also 0,7 kg mehr als die hier angegebene, das macht bei 50 PS und 10 stündiger Betriebszeit in 300 Tagen ein Mehr an Steinkohlen von $0{,}7 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 300 = 105\,000$ kg jährlich aus. Kosten 100 kg = 2 ℳ, so ist das ein Geldbetrag von 2100 ℳ, mit welchem man ein Kapital von 42 000 ℳ mit 5% verzinsen kann (vergl. auch Seite 34).

Es müssen hier jetzt die Betriebskosten für einige ortsfeste Dampfmaschinen ähnlicher Konstruktion von R. Wolf ermittelt werden.

Anlage- und Betriebskosten von Heissdampflokomobilen.

Ausführungsweise: R. Wolf, Magdeburg-Buckau.

	Heißdampf-Hochdruck-lokomobilen mit Auspuff				Heißdampf-Tandem-lokomobilen mit Kondensation		
Normalleistung PS eff.	12	18	27	38	20	28	37
Höchste Dauerleistung .	17	25	38	52	34	45	58
Vorübergehende Höchstleistung	20	30	44	60	42	54	70

I. Anlagekosten.

	Heißdampf-Hochdruck-lokomobilen mit Auspuff				Heißdampf-Tandem-lokomobilen mit Kondensation		
*Preis der vollständigen Lokomobilen . M	5 300	6 500	8 500	11 900	10 000	11 400	13 200
*Schornstein von Blech "	240	272	420	560	306	342	420
*Rohrleitungen im Maschinenhaus . M	35	40	50	150	200	240	300
*Fundament . . "	75	85	100	200	100	125	140
*Aufstellung.Nebenkost. "	130	160	180	200	190	200	230
Anlagekosten M	5 780	7 057	9 250	13 010	10 796	12 307	14 290
Maschinenhaus ca. "	900	1 080	1 440	1 680	1 320	1 500	1 620
*Garantierter Brennstoffverbrauch 1 kg Steinkohle=7500WE einschl. Anheizen für 1 PS eff. kg . . .	1,44	1,40	1,36	1,29	0,85	0,84	0,83

II. Betriebskosten für 3000 Betriebsstunden im Jahr bei normaler Leistung.

1) Amortisation, Verzinsung und Instandhaltung 13% . M	751	917	1 203	1 691	1 403	1 600	1 858
2) Maschinenhaus 8% "	72	86	115	134	106	120	130
3) Schmieröl, Packung "	190	230	290	365	300	400	450
4) Bedienung, Revisions-Verein. . . . M	1 200	1 200	1 200	1 200	1 300	1 300	1 300
5) Brennstoff 100 kg = 2 M . . . . M	1 037	1 512	2 203	2 941	1 020	1 411	1 843
Jährl. Betriebskosten M	3 250	3 945	5 011	6 331	4 129	4 831	5 581
für 1 PS eff. in einer Stunde . . . ₰	9,0	7,3	6,2	5,6	6,9	5,8	5,0

* Angaben der Firma.

Zu [1]). Amortisation ist mit 7% in Ansatz zu bringen, entsprechend einer Brauchbarkeit von Dampfkessel und Maschine von etwa 15 Jahren. Verzinsung muß jetzt mit $4^1/_2$% gerechnet werden. Wegen des Dampfkessels und Überhitzers ist für die Instandhaltung $1^1/_2$% zu nehmen.

Zu [2]). Der Preis des Maschinenhauses ist in der Weise ermittelt worden, daß für 1 qm der erforderlichen bebauten Grundfläche 60 M gerechnet wurden. Bei diesem niedrigen Betrage ist selbstredend nur einfache Aus-

III. Betriebskosten für 3000 Betriebsstunden bei höchster Dauerleistung.

	Heißdampf-Hochdruck-lokomobilen mit Auspuff				Heißdampf-Tandem-lokomobilen mit Kondensation		
Wie unter II. Summe 1—4 . . . . . ℳ	2 213	2 433	2 808	3 390	3 109	3 420	3 738
[5]) Brennstoff . . . „	1 469	2 100	3 100	4 025	1 734	2 268	2 888
Jährl. Betriebskosten ℳ	3 682	4 533	5 908	7 415	4 843	5 688	6 626
für 1 PS eff. in einer Stunde . . . ₰	7,2	6,0	5,2	4,8	4,7	4,2	3,8

IV. Betriebskosten für 1000 Betriebsstunden bei normaler Leistung.

Wie unter II. Summe 1—2 . . . . . ℳ	823	1 003	1 318	1 825	1 509	1 720	1 988
[3]) Schmieröl 2c 40% .	76	92	116	146	120	160	180
[4]) Bedienung 2c. . . .	600	600	600	600	650	650	650
[5]) Brennstoff	346	504	735	980	340	470	614
Jährl. Betriebskosten ℳ	1 845	2 199	2 769	3 551	2 619	3 000	3 432
für 1 PS eff. in der Stunde . . . ₰	15,4	12,2	10,3	9,3	13,1	10,7	9,3

Diese Berechnung zeigt deutlich, daß es vorteilhaft ist, die Dampfmaschine möglichst auszunutzen, indem die Kosten bei höchster Ausnutzung unter III um das Zweifache bis beinahe Dreifache niedriger sind als unter IV.

Es ist nicht schwer, nach diesem Muster sich die Betriebskosten für jeden weiteren Fall besonders auszurechnen.

Ein besonderes Interesse für die Landwirte haben noch die fahrbaren Heißdampflokomobilen der Firma R. Wolf in Magdeburg-Buckau. Fig. 7 gibt die Anordnung einer solchen Maschine und zwar einen Schnitt durch die Mitte in der Längenrichtung. Man erkennt darin wieder links die Feuertür, die Feuerbuchse mit dem Rost, die

---

führung möglich und deshalb für Amortisation $3^1/_2$%, entsprechend einer Brauchbarkeit von 30 Jahren oder 2 Kesselanlagen, genommen. Verzinsung wieder $4^1/_2$%.

Zu [4]). Bei dem Dampfkessel muß ständig ein Wärter sein, dessen Aufmerksamkeit nicht durch andere Arbeiten abgelenkt werden darf. Es ist deshalb hier der gesamte Lohn eines Wärters im Durchschnitt eingesetzt.

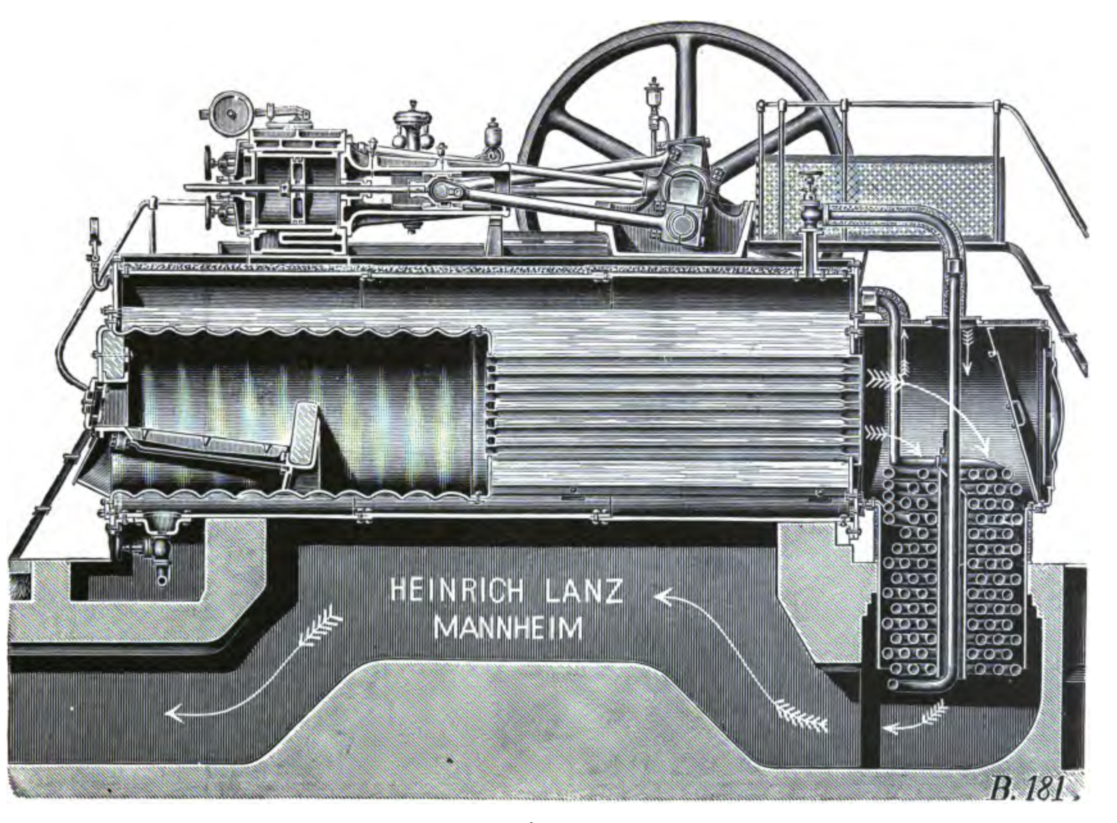


Fig. 8.

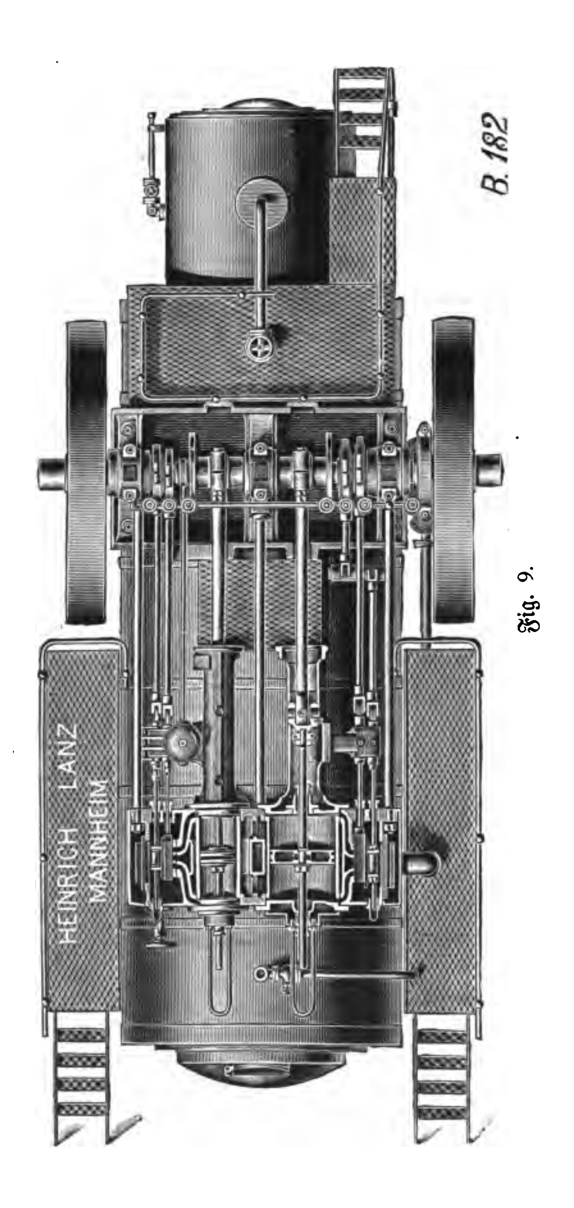


Fig. 9.

horizontal liegenden Heizröhren zwischen der vorderen Wand der Feuerbuchse und der Rauchkammerwand und den in der Rauchkammer angeordneten Dampfüberhitzer. Von diesem geht der Dampf durch den Dampfraum des Kessels in den Zylinder, der ebenfalls durch Dampf vor Abkühlung geschützt ist, wo er den Kolben bewegt. Der Antriebsmechanismus ist in der Figur dargestellt. Diese Maschinen arbeiten mit Auspuff, weil die nötige Wassermenge für die Kondensation meistens nicht zur Verfügung steht. Sie dürfen nur in Betrieb genommen werden, wenn die Vorschriften einer Polizei-Verordnung, die fast überall hierfür erlassen ist, erfüllt sind.

Eine solche Lokomobile leistete bei einer Prüfung beim ersten Versuch 23,9 PS eff. und verbrauchte für jede 0,96 kg Kohlen von 7800 WE Heizwert, bei einem zweiten 16,4 PS eff. und 1,00 kg Kohlen derselben Art.

Die Preise der fahrbaren Patent-Heißdampf-Hochdruck-Lokomobilen mit ausziehbarem Röhrenkessel und Röhrenvorwärmer sind wie folgt:

Leistung der Maschine PS . .	12—20	15—25	18—30
Umdrehungen in der Minute .	210	210	200
Preis in Mark	5700	6250	7000
Garantierter Kohlenverbrauch .	1,13—1,25	1,12—1 24	1,10—1,22
Leistung der Maschine PS . .	22—36	27—44	33—50
Umdrehungen in der Minute .	200	200	200
Preis in Mark	8000	9200	10 700
Garantierter Kohlenverbrauch .	1,08—1,20	1,06—1,18	1,04—1,16

Hiernach lassen sich die Betriebskosten leicht berechnen.

Die Preise für ortsfeste und fahrbare Sattdampflokomobilen wird die Firma auf Anfrage gern mitteilen.

2. Heinrich Lanz, Mannheim.

In Fig. 8 ist der Längenschnitt durch eine ortsfeste Heißdampflokomobile dieser Firma wiedergegeben und in Fig. 9 die dazugehörige Aufsicht mit einem horizontalen Schnitt durch die beiden Dampfzylinder. Es fällt an dieser Anordnung sofort die Lage des Dampfüberhitzers auf; er ist hinter dem Dampfkessel so tief gelegt, daß die Heizrohre bequem durchstoßen werden können, um sie von Flugasche zu reinigen. Bei anderen Kesselkonstruktionen, namentlich solchen, die auf Tragfüßen stehen, wird er auch über den Heizröhren

in einem erweiterten Schornsteinteil angebracht. Um den Dampfkessel bequem reinigen zu können, ist das Heizrohrsystem mit der Feuerbuchse an den Stirnwänden festgeschraubt und nach Lösung der Muttern herauszuziehen. Der Feuerzug ist unter den Mantel des Kessels geleitet worden, um die Heizfläche zu vergrößern und die Anrostungen zu vermeiden, die gern an den unteren Nietnähten auftreten, wenn sie nicht von den heißen Gasen bespült werden. Die Dampfmaschine hat zwei Dampfzylinder, einen Hochdruckzylinder (das ist derjenige mit dem kleinen Durchmesser), in den der frische überhitzte Kesseldampf eintritt, bis zu einer bestimmten Spannung Arbeit verrichtet und dann in den Niederdruckzylinder übergeleitet wird, wo er die letzte in ihm steckende Energie abgibt. Beide Dampfzylinder werden mit frischem Kesseldampf geheizt, um Spannungsverluste durch Abkühlung zu vermeiden. Der Hochdruckzylinder hat eine Rider-Expansionssteuerung, die vom Regulator je nach Bedarf verstellt wird, während der Niederdruckzylinder nur eine feste Expansionssteuerung hat. Die Kurbelwellenlager sind mit Patent-Kettenschmierung versehen. Beim Arbeiten der Maschine muß der Dampfkesselmantel bei jeder solchen Lokomobile Kräfte aufnehmen und somit Beanspruchungen erleiden, für die er nicht berechnet ist; um das möglichst zu vermeiden, hat Lanz noch Strebestangen zwischen den Zylindern und den Kurbelwellenlagern angeordnet, wodurch der Zusammenbau der Maschine stabil und der Dampfkessel wesentlich entlastet wird. Der Ruf der Firma bürgt dafür, daß bei dem Bau nicht nur den behördlichen Vorschriften im weitgehendsten Maße entsprochen, sondern daß auch gutes, zweckentsprechendes Material verwendet und saubere Arbeit geliefert wird.

Eine Betriebskostenberechnung hier wiederzugeben hat keinen Zweck, da sich die Fabrikate in dieser Hinsicht von denen der Firma R. Wolf nicht unterscheiden. Wer eine Maschine beschaffen will, kann bei beiden Firmen Angebote einziehen und erhält dabei genaue Angaben über die Garantie, die jede Firma übernimmt. Das auf Seite 37 angegebene Schema zur Ermittelung der Betriebskosten kann ihm bei der Auswahl gute Dienste leisten.

Fahrbare Heißdampflokomobilen werden von der Firma nicht gebaut, wohl aber Sattdampflokomobilen, und zwar entweder mit ausziehbarem Röhrenkessel Fig. 10 oder mit Lokomotivkessel Fig. 11.

Die Preise dieser Lokomobilen sind folgende:

Normalleistung PS eff. einzylindrig	Fig.	mit selbsttätiger Expansion	Bremse	Summme
11	10	ℳ 5 000	ℳ 100	ℳ 5 100
13	10	„ 5 400	„ 100	„ 5 500
15	10	„ 5 950	„ 110	„ 6 060
18	10	„ 6 250	„ 110	„ 6 360
22	10	„ 6 700	„ 130	„ 6 830
28	10	„ 7 900	„ 150	„ 8 050
35	10	„ 9 650	„ 175	„ 9 825
45	10	„ 11 300	„ 200	„ 11 500

Bei Ausführung nach Fig. 11 ist der Preis um 9—10% niedriger.

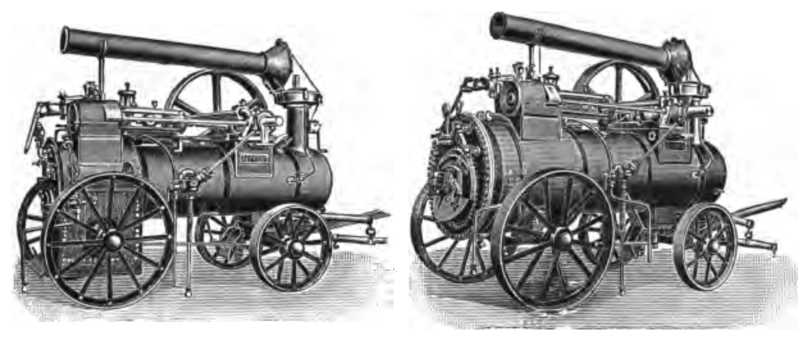


Fig. 10. Fig. 11.

3. Dampf-Spar-Motor der Eisenwerke A. G. Gaggenau, Gaggenau (Baden).

Dampfkessel und Dampfmaschine werden auf demselben Fundament aufgestellt, ersterer besteht, wie Fig. 12 zeigt, aus einem senkrechten Wasserkasten, in dessen hinterer Wand an einem Ende geschlossene Siederohre etwas geneigt gegen die Wagerechte eingewalzt sind. Der Rost für die Feuerung ist unter den Siederohren geneigt angeordnet, die Einschüttöffnung befindet sich am geschlossenen Ende der Siederohre. Über dem Wasserkasten ist ein Dampfsammler, von dem der Dampf durch ein Rohr mit Absperrventil in die Maschine geleitet wird, welche, wie aus Fig. 13 und 14 hervorgeht, einfach wirkend ist. In dem langen Dampfkolben befindet sich ein Bolzen, an welchem die Pleuel- oder Schubstange befestigt ist, deren anderes

Ende mittels der Kurbel die Schwungradwelle mit der Riemenscheibe in Umdrehung versetzt. Auf dieser Welle ist ein Excenter angebracht, von dem zugleich die Schiebersteuerung der Dampfmaschine und die Pumpe, welche das Kondensationswasser in den Kessel speist, angetrieben werden. Die Regelung der Umdrehungsgeschwindigkeit des Schwungrades geschieht durch einen empfindlichen Regulator, der den Dampf vor dem Eintritt in die Maschine drosselt. Um die schädlichen Räume möglichst klein zu halten, sind die Dampfkanäle so kurz als angängig gemacht. Der Abdampf wird in einem Oberflächenkondensator, der wie die Dampfmaschine stehend angeordnet ist, niedergeschlagen und dient dann wieder als Kesselspeisewasser. Diese Motoren werden in Größen von 1—30 PS ausgeführt.

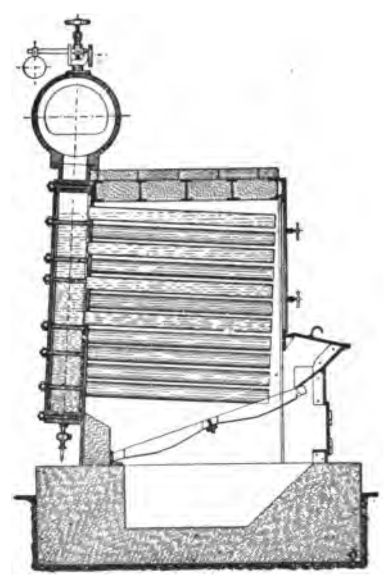


Fig. 12.

Bei der Aufstellung ist zu beachten, daß nur die kleinsten (bis einschließlich 6 PS) unter Räumen, in welchen Menschen sich aufzuhalten pflegen (§ 14 der Bundesratsbekanntmachung vom 5. Aug. 1890) aufgestellt werden dürfen.

Der wirtschaftliche Wirkungsgrad dieser Motoren ist, wenn man 3,2 kg Steinkohle für die Nutzpferdestärke in der Stunde rechnet,

$$g_w = \frac{75 \cdot 60 \cdot 60}{3{,}2 \cdot 7300 \cdot 424} = 0{,}027$$

d. h. es werden nur 2,7% der auf dem Rost erzeugten Wärme ausgenutzt.

Diese Motoren können auch mit Braunkohle, Torf, Gerberlohe, Holzabfällen, Papierspähnen, Lederabfällen und dergl. geheizt werden. Wo solche Abfälle im Betriebe entstehen und anderweitig mit Vorteil sich nicht verwenden lassen, geben sie ein gutes Brennmaterial und dienen, selbst wenn sie noch mit Steinkohlen gemischt werden, dazu, die Betriebskosten für die Antriebskraft herabzusetzen. Der Abdampf des Motors kann vielfach noch zu anderen Zwecken ver-

wandt werden, z. B. zum Heizen von Wohn- und Arbeitsräumen, zum Erwärmen von Leimtöpfen in Schreinereien usw. Die Maschinen sind mit einem Oberflächen-Konsendator versehen, der den Abdampf, wenn er nicht anderweitig benutzt werden kann, kondensiert und durch eine fortwährend arbeitende Pumpe das heiße Wasser dem Kessel wieder zuführt, sodaß der Wasserstand im Dampfkessel ziemlich selbsttätig auf derselben Höhe gehalten wird. Das zur Abkühlung des

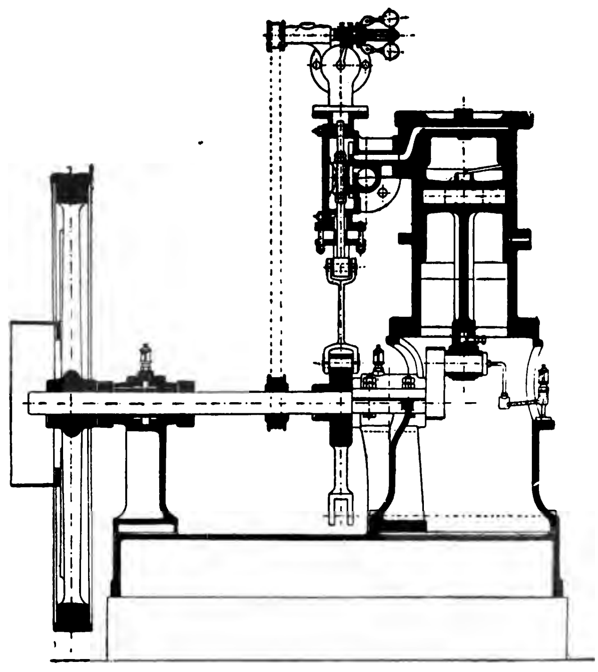


Fig. 13.

Kondensators benutzte Wasser fließt mit etwa 45 ° C ab, ist vollständig rein und kann noch in mannigfacher Weise Verwendung finden. Man trifft deshalb diese Motoren vielfach in Molkereien, kleinen Brauereien, Färbereien, Wurstfabriken, Bade- und Waschanstalten usw. an.

In der folgenden Betriebskostenberechnung ist angenommen, daß das Kühlwasser für den Kondensator unentgeltlich zur Verfügung

steht, wie das auch bei den übrigen berechneten Maschinen geschehen ist. Wenn das nicht der Fall sein sollte, so dient der Kondensator als Vorwärmer für das Speisewasser des Dampfkessels, der dann für eine Pferdekraftstunde 15—20 l davon verbraucht. Die Kosten hierfür müßten event. noch im Ansatz gebracht werden.

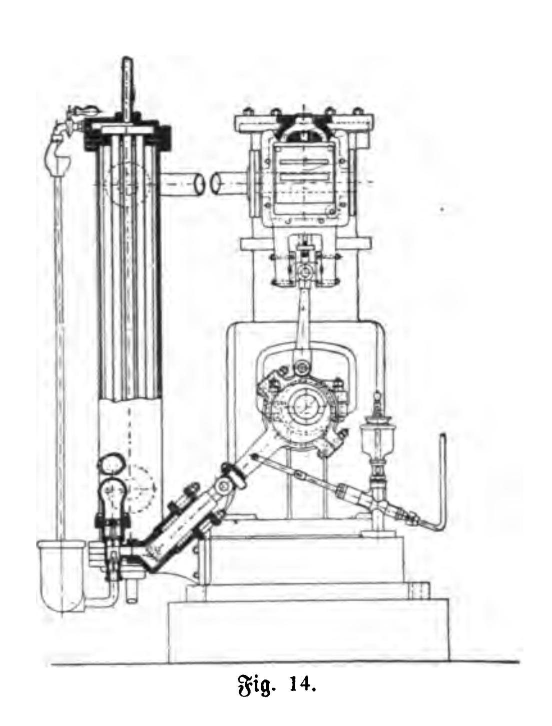


Fig. 14.

Anlage- und Betriebskosten von Kleindampfmaschinen.

Ausführungsweise: Gaggenauer Dampf-Sparmotor.

Normale Leistung PS eff.	1	3	4	6	12	18*	24*
Höchste Leistung PS eff.	$1^1/_2$	4	6	8	15	20	28
Umdrehungszahl in 1 Minute	220	190	190	190	175	190	190

*) Diese beiden Motoren sind 2zylindrig.

I. Anlagekosten.

Preis des Motors mit Kessel . . . . . M	1375	2025	2525	3025	4475	5675	7600
*Nebenkosten 10% "	138	203	253	303	448	568	760
Gesamtanlagekosten M	1513	2228	2778	3328	4923	6243	8360
Brennstoffverbrauch an Steinkohlen für 1 PS eff. (100 kg = 2 M) g	3500	3200	3200	3000	2800	2600	2500

II. Betriebskosten. 3000 Betriebsstunden. Normale Leistung.

1. Amortisation, Verzinsung und Instandhaltung 13% M	197	290	361	433	640	812	1087
2. Bedienung, Revisionsverein "	200	250	300	350	400	450	500
3. Schmieröl, Putzwolle 2c. "	120	140	150	160	200	240	280
4. Brennstoff "	210	576	768	1080	2016	2808	3600
10% Zuschlag für Anheizen 2c. "	21	58	77	108	202	280	360
Jährl. Betriebskosten M	748	1314	1656	2131	3458	4590	5827
Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde ₰	24,9	14,6	13,8	11,8	9,6	8,5	8,1

III. Betriebskosten. 1000 Betriebsstunden. Normale Leistung.

1. Amortisation 2c. M	197	290	361	433	640	812	1087
2. Bedienung "	100	125	150	175	200	225	250
3. Schmieröl 2c. 40% "	48	56	60	64	80	96	112
4. Brennstoff "	70	192	256	360	672	936	1200
10% Zuschlag "	7	19	26	36	67	94	120
Jährl. Betriebskosten M	422	682	853	1068	1659	2163	2769
Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde ₰	42,2	22,7	21,3	17,8	13,8	12,0	11,5

*) Hierhin gehören die Fundamente für Maschine und Kessel, Kamin, Rohrleitungen außerhalb des Kessels, Aufstellung usw.

§ 9.

b) Heißluftmaschinen.

I. Allgemeines.

Es ist ein bekanntes Naturgesetz, daß ein Körper sich ausdehnt, wenn ihm Wärme zugeführt wird, und sich zusammenzieht, wenn ihm Wärme entzogen wird. Hindert man ihn daran, diese Bewegungen auszuführen, so sucht er diese Hindernisse unter bedeutender Kraftentwicklung zu überwinden. Der Gedanke lag somit nicht fern, einem geeigneten Körper, der sich selbstredend in gasförmigem Zustande befinden und überall leicht und ohne erhebliche Kosten zu haben sein mußte, Wärme zuzuführen, ihn dadurch auszudehnen und ihm in diesem Bestreben einen überwindbaren Widerstand entgegenzusetzen. Man brauchte daher nur in einem zylindrischen Gefäße hinter einem beweglichen Kolben einen luftförmigen Körper zu erwärmen, wodurch er sich ausdehnen und den beweglichen Kolben kräftig nach einer bestimmten Richtung hin forttreiben mußte, diesen Körper dann wieder abzukühlen und den Vorgang oft zu wiederholen, so war damit im Prinzip eine Kraftmaschine geschaffen. Als zweckentsprechender Körper, der während der Wärmezufuhr sich arbeitverrichtend ausdehnen konnte, fand sich die überall vorhandene atmosphärische Luft, als Wärmequelle hingegen die bekannten Brennmaterialien, Steinkohlen, Braunkohlen, Koks*) 2c.

In einer solchen Kraftmaschine müßten sich daher nacheinander folgende Vorgänge abspielen: Zunächst müßte in einem Zylinder atmosphärische Luft erwärmt werden, sich ausdehnen und einen Kolben in bestimmter Richtung vorwärts treiben, hierauf müßte die Luft abgekühlt werden, sich zusammenziehen und der Kolben in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung zurückbewegt werden; außerdem wäre noch die Umsetzung der gradlinigen, hin- und hergehenden Bewegung des Kolbens durch einen Kurbelmechanismus in eine drehende zu bewirken. In der Tat spielen sich alle diese Vorgänge in der Heißluftmaschine ab.

*) Das Wort „Koks" kommt vom lateinischen coquo, coxi, coctum, coquere, kochen und nicht von cogo, coegi, coactum, cogere, zusammentreiben. Es kann daher im Deutschen auch nur „Koks" geschrieben werden.

4

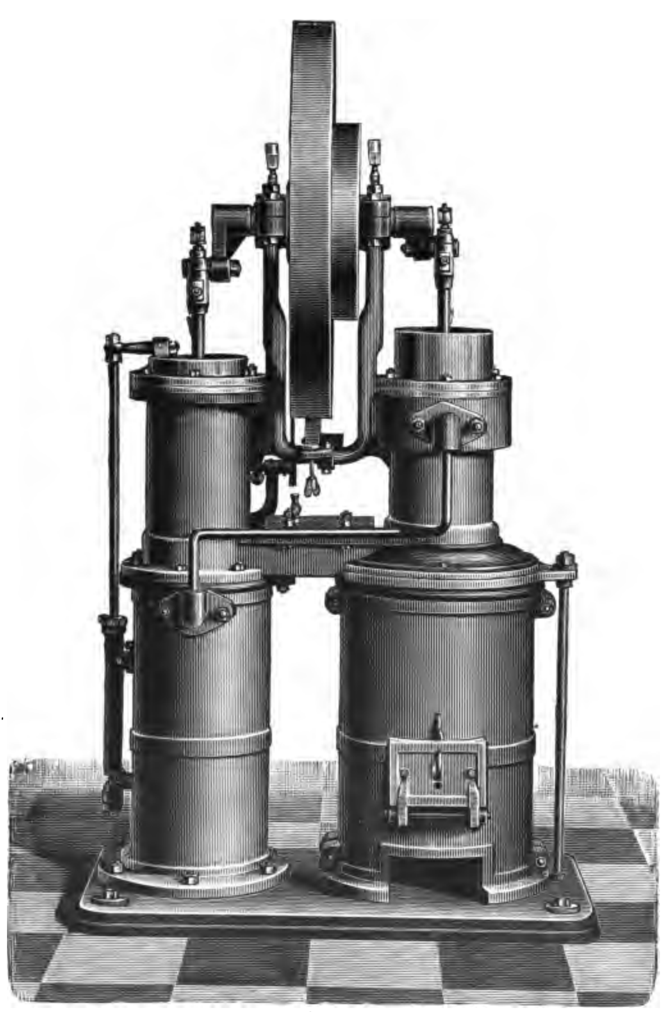


Fig. 15.

Die vorhandenen Kleinkraftmaschinen dieser Art lassen sich nun, je nachdem stets dieselbe atmosphärische Luft zur Erwärmung und Abkühlung benutzt oder stets eine andere Luftmenge erwärmt und abgekühlt wird, in zwei Gruppen, und zwar in geschlossene und offene Heißluftmaschinen, einteilen.

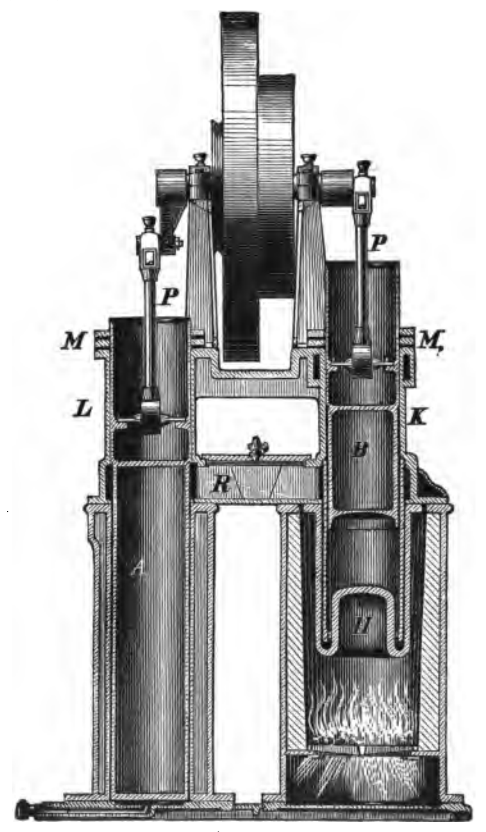


Fig. 16.

Demnach sind

geschlossene Heißluftmaschinen solche Motoren, in denen stets dieselbe Luftmenge zur Kraftäußerung benutzt wird,

und

offene Heißluftmaschinen solche Motoren, in denen stets eine andere, also neue Luftmenge arbeitverrichtend wirkt.

Diese letzteren arbeiten daher mit Auspuff und sind mit einem Ausblaserohr versehen, während die ersteren ein solches nicht haben.

II. Besondere Ausführungsweisen.

Zu den besten geschlossenen Heißluftmaschinen gehört ohne Zweifel diejenige von Rider-Monski von der

1. Eilenburger Eisengießerei und Maschinenfabrik Alexander Monski.

Sie besteht, wie aus der Ansicht Fig. 15 und dem Durchschnitt Fig. 16 ersichtlich, im wesentlichen aus zwei verschiedenen, getrennt voneinander angeordneten, stehenden Zylindern, zwischen denen sich das Schwungrad befindet. Die Hauptbestandteile sind: die Feuerung mit dem darüber befindlichen Heiztopf H (Fig. 16), der Kraft- oder Arbeitszylinder K mit dem darin beweglichen Kolben B, der Kühlzylinder L mit seinem Kolben A, der auch Verdränger genannt wird, und die zwischen beiden Zylindern befindliche kleine, kastenförmige Verbindung R, der Regenerator.

In dem allseitig geschlossenen Heiztopf H wird durch das unter ihm befindliche Brennmaterial atmosphärische Luft erwärmt, sie muß sich infolgedessen in dem über dem Heiztopf befindlichen Arbeitszylinder K ausdehnen und treibt hierbei den beweglichen Kolben B aufwärts. Sodann tritt die Luft durch den Regenerator R, dessen Zweck sogleich noch näher angegeben wird, in den Verdrängerzylinder L zwischen Zylinderwandung und Kolben ein und wird durch Wasser, das sich zwischen dem Zylinder L und dem ihn umgebenden Mantel befindet, abgekühlt, eilt dann wieder durch den Regenerator R in den Arbeitszylinder K und den Heiztopf H, wird wieder erwärmt, und somit beginnt dasselbe Spiel von neuem.

Um der Luft nicht alle ihr mitgeteilte Wärme durch das Kühlwasser wieder entziehen zu müssen und somit an Brennmaterial zu sparen, ist der Regenerator R angeordnet worden. Er enthält in seinem kastenförmigen Hohlraum eine große Anzahl kleiner Metallplatten, durch welche die erwärmte Luft bei dem Übertritt vom Arbeits- in den Verdrängerzylinder sich hindurchzwängen muß, wobei sie einen Teil der ihr durch die Heizung zugeführten Wärme an die Platten abgibt; das umgekehrte Verfahren tritt beim Zurücktritt der abgekühlten Luft aus dem Verdränger in den Arbeitszylinder ein, sie

muß sich jetzt ebenfalls durch die Platten hindurchzwängen, nimmt aber von ihnen Wärme auf, es braucht ihr daher durch die Feuerung so viel weniger Wärme zugeführt zu werden, als sie schon im Regenerator aufgenommen hat.

Ein und dieselbe Luftmenge wird in dieser Weise in einer Minute 100—140 mal erwärmt und abgekühlt; ein Auspuff findet nicht statt.

In welcher Weise sich die soeben angegebenen Vorgänge bei den verschiedenen Kurbelstellungen im Innern des Motors abspielen, möge an der Hand der Figuren 17—20 dargelegt und hierbei noch nachgeholt werden, daß in Fig. 16 die Verbindungsstangen zwischen Kolben und Kurbeln, also die Pleuelstangen, mit P bezeichnet sind und die Dichtung der Kolben in den Zylindern durch einfache Ledermanschetten M erfolgt.

Der Kreis in den Figuren 17—20 bezeichnet den Weg, den der Kurbelzapfen macht. A ist die Kurbel des Verdrängerkolbens und B

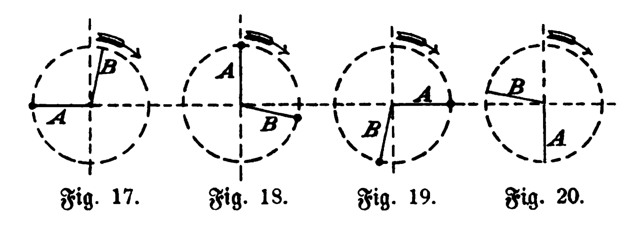


Fig. 17. Fig. 18. Fig. 19. Fig. 20.

diejenige des Arbeitskolbens. Beide Kurbeln sind gleich lang und daher ist der Kolbenhub in beiden Zylindern genau derselbe; die Kolben haben in den Zylindern aber nicht dieselbe Stellung, weil beide Kurbeln um einen Winkel von etwas mehr als 90 Grad gegeneinander versetzt sind. Da der Pfeil den Drehungssinn der Kurbeln bezeichnet, so bleibt, wie aus den Figuren ersichtlich, der Verdrängerkolben A stets um etwas mehr als einen rechten Winkel hinter dem Arbeitskolben zurück, man sagt, der letztere eile dem ersteren um den erwähnten Winkel voraus.

In Fig. 17 ist eine Stellung gezeichnet, in der die Kurbel B und somit auch der in Fig. 16 mit dem gleichen Buchstaben bezeichnete Arbeitskolben sich abwärts bewegt und die im Zylinder K enthaltene, erwärmte Luft durch den Regenerator R nach dem Verdrängerzylinder hinüberdrückt. Gleichzeitig bewegt sich die Kurbel A und somit auch der Verdrängerkolben aufwärts, er kommt daher dem

Arbeitskolben B beim Hindurchdrängen der Luft durch den Regenerator zur Hilfe, indem er sie ansaugt. Auf diesem Wege gibt die Luft einen Teil der Wärme an die Platten im Regenerator ab und wird dann an den kalten Wänden des Verdrängerzylinders weiter abgekühlt. Dieser Vorgang währt so lange, bis die Kurbeln die in Fig. 18 dargestellte Stellung eingenommen haben. Diese Periode kann daher die Abkühlungsperiode genannt werden.

Hat der Verdränger A (Fig. 18) seinen höchsten Stand erreicht und der Arbeitskolben B soeben beim Abwärtsgange seine mittlere Stellung überschritten, so bewegen sich beide Kolben abwärts, und es muß daher die unter ihnen befindliche Luft zusammengedrückt (komprimiert) werden. Dieser Vorgang dauert wieder so lange, bis die Kurbeln die in Fig. 19 gezeichnete Stellung erreicht haben. Diese Periode kann man als Kompressionsperiode bezeichnen.

Nimmt die Verdrängerkurbel A die Stellung Fig. 19 ein, so hat der Arbeitskolben soeben seinen tiefsten Punkt überschritten und bewegt sich wieder aufwärts, also im entgegengesetzten Sinne wie der Verdrängerkolben. Es wird daher Luft vom Verdränger durch den Regenerator nach dem Arbeitskolben hinübergedrückt, während dieser zugleich wieder saugend wirkt. Die abgekühlte Luft nimmt hierbei aus dem Regenerator Wärme auf und erfährt eine weitere Erwärmung in dem Heiztopf. Dieser Vorgang, den man die Erwärmungsperiode nennen könnte, währt so lange, bis die Kurbeln die Stellung in Fig. 20 angenommen haben; von diesem Moment an bewegen sich beide Kurbeln aufwärts. Die während der vorigen Periode zugeführte Wärme dehnt die Luft aus, es ist dieses die Expansions- oder Arbeitsperiode, und so folgen bei jeder Schwungradumdrehung stets Abkühlung, Kompression, Erwärmung und Expansion aufeinander.

Bei dieser Betrachtung ist nicht hervorgehoben worden, daß dem Heiztopf H ununterbrochen Wärme zugeführt wird, was an der Wirkungsweise des Motors nichts ändert.

Da die Kolben nicht absolut dicht in den Zylindern geführt werden können und sonst gelegentlich noch die Luft aus dem Innern der Maschine entweichen könnte, so ist an dem Verdrängerzylinder L noch ein kleines sogenanntes Schnarchventil angebracht, welches beim Herabsinken des Luftdruckes in dem Zylinder unter den äußeren Atmosphärendruck der Luft den Eintritt selbsttätig gestattet und somit

etwa auftretende Luftverluste sofort ausgleicht. An dem oberen Teil des Regenerators befindet sich ein kleiner Hahn, durch welchen man bei entsprechender Stellung die Luft aus dem Innern entweichen lassen kann, was ein fast augenblickliches Stillstehen des Motors zur Folge hat.

Die Rider-Monski'schen Heißluftmotoren werden in Größen von $^1/_3$, $^1/_2$, $^2/_3$, 1 und 2 Pferdestärken gebaut. Ihre Aufstellung ist nicht an polizeiliche Bestimmungen gebunden, vielmehr darf sie überall da erfolgen, wo man gewöhnliche Stubenöfen hinstellen kann. Die Maschinen sind verhältnismäßig leicht und brauchen in den meisten Fällen keine besonderen Fundamente, sie werden sogar als Pumpmaschinen auf besonderen, fahrbaren Wagen aufgestellt.

Das Kühlwasser wird meistens aus einem besonderen Kühlgefäß durch eine am Motor befindliche, kleine Pumpe entnommen und in den Hohlraum zwischen Verdränger-Zylinder und -Mantel gepumpt, aus welchem es dann wieder in das Gefäß zurückfließt. Die Kühlung kann aber auch durch Anschluß an eine vorhandene Wasserleitung wie bei den Gasmotoren erfolgen.

Die Inbetriebsetzung ist außerordentich einfach, indem man nur unter dem Heiztopf Feuer anzumachen braucht. Sind alle Teile sauber gereinigt und geölt, so kann man etwa 15—20 Minuten nach dem Anheizen durch Drehen am Schwungrade die Maschine in Bewegung setzen. Um sie anzuhalten, braucht man nur den kleinen Hahn auf dem Regenerator zu öffnen.

Eine Rider-Monski'sche Heißluftmaschine lieferte bei einem Versuch 1,57 N_i und 0,68 N_e, sie hatte also einen maschinellen Wirkungsgrad

$$g = \frac{0,68}{1,57} = 0,43$$

Dabei verbrauchte sie für eine Nutzpferdestärke in der Stunde 11,2 kg Braunkohlen; in diesen ist eine sekundliche mechanische Arbeit enthalten, wenn 1 kg Braunkohlen 3500 WE entwickelt, von

$$\frac{11,2 \cdot 3500 \cdot 424}{60 \cdot 60} = 4617 \text{ mkg.}$$

Geleistet wurden aber nur 0,68 effektive Pferdestärken oder 0,68·75 = 51 mkg, woraus folgt

$$G_w = \frac{51}{4617} = 0,011$$

d. h. nur 1,1 % der erzeugten Wärme werden nutzbringend verbraucht.

Diese Heißluftmaschinen dienen namentlich als Wasserhebemaschinen. Sie sind zu diesem Zweck mit einer Pumpe in Verbindung gebracht, die je nach den örtlichen Verhältnissen an dem Motor befestigt ist, oder in einem Brunnen besonders aufgestellt und durch ein Gestänge oder ein Vorgelege vom ihm angetrieben wird. Die Heißluftpumpmaschinen werden auch fahrbar geliefert und finden dann namentlich Verwendung zum Bewässern von Baumschulen, Anpflanzungen 2c. und zum Entwässern von Baugruben, Kanälen 2c.

Eine der Monski'schen ähnliche Heißluftmaschine wird als Spezialität von der

2. Sächsische Motoren- und Maschinenfabrik
Otto Böttger in Dresden-A. 28

gebaut. Als besondere Vorzüge werden hervorgehoben Kugellager in den Pleuelstangen, Rapid- und Sparfeuerung mit Schüttvorrichtung und Kugelregulator zur Regelung der Schwungradumdrehungen bei wechselnder Kraftbeanspruchung. Es ist daher nicht nötig, hier noch eine Beschreibung zu geben.

Auch diese Heißluftmaschinen haben in Verbindung mit Pumpen eine weite Verbreitung gefunden und zwar zur Wasserförderung in Steinbrüchen, Gruben, Ziegeleien und zur Wasserversorgung einzelner Gebäude, Gärtnereien, Güter, sogar kleiner Gemeinden.

Kostenberechnung für geschlossene Heissluftmaschinen.

Rider-Monski und Otto Böttger.

Leistung der Maschine PS eff.		1/8—1/6	1/4—1/3	1/2—3/4	1—1 1/2	1 1/2—2
Umdrehungszahl in einer Minute		150	135	125	110	105
I. Anlagekosten.						
Preis des Motors in	M	620	835	1175	1675	1800
Nebenkosten 10%	„	62	84	118	168	180
Gesamtanlagekosten	M	682	919	1293	1843	1980
Koksverbrauch für 10 Std.	kg	18	25	40	50	60
II. Betriebskosten für 3000 Betriebsstunden.						
1. Amortisation 7%, Verzinsung 4 1/2% Instandhaltung 1% = 12 1/2%	M	86	115	162	230	248
2 Bedienung	„	50	50	50	60	70
3. Schmieröl, Putzwolle	„	6	7	8	10	15
4. Koks (100 kg = 2 M)	„	108	150	240	300	360
Jährliche Gesamtkosten	M	250	322	460	600	693
Kosten für 1 PS eff. in einer Std.	₰	50,0	32,2	20,4	13,3	11,6

Offene Heißluftmaschinen, zu denen der Venier-Motor gehört, werden jetzt fast garnicht mehr gebaut.

Wärmekraftmaschinen.

B. Mit direkter Ausnutzung der erzeugten Wärme.

a) Gasförmige Brennstoffe.

§ 10.

Gaskraftmaschinen.

I. Allgemeines.

Wenn auch schon im Jahre 1860 der Franzose Lenoir Gasmaschinen herstellte, so gebührt doch das Verdienst, sie für die Praxis brauchbar gemacht zu haben, den beiden Deutschen Otto und Langen.

Dr. Nicolaus August Otto wurde 1832 in Holzhausen in Nassau geboren. Obwohl er sich dem Kaufmannsstande gewidmet hatte, zeigte er doch ein außerordentlich reges Interesse und tiefes Verständnis für alle physikalischen Fragen, die mit den Fortschritten der Technik in Verbindung standen. Als Otto hörte, daß es gelungen sei, durch Explosion eines Gemisches von Leuchtgas und atmosphärischer Luft Kraft zu entwickeln, suchte er für diese Kraftquelle eine Maschine zu konstruieren. Die ersten Versuche mißlangen vollständig. Als er aber Eugen Langen, einen Schüler Redtenbachers und tüchtigen Konstrukteur, für seine Idee gewonnen hatte, und beide gemeinsam an die Arbeit gingen, konnte der erste Gasmotor gebaut werden. Die Wirkungsweise entsprach derjenigen der ersten atmosphärischen Dampfmaschine. So wie Newcomen bei dieser den Dampf nicht als treibende Kraft, sondern nur zur Erzeugung eines Vakuums unter dem Kolben benutzte und die Kraftäußerung der atmosphärischen Luft überließ, so wurde bei der ersten Gasmaschine von Otto und Langen durch die Explosion des Gasgemisches auch nur ein Vakuum unter dem Kolben erzeugt.

Bei der Explosion wurde der Kolben in dem Zylinder in die Höhe geworfen und dann mit der Schwungradwelle selbsttätig gekuppelt; hierauf ward er infolge des unter ihm vorhandenen Vakuums durch die äußere atmosphärische Luft arbeitsleistend niedergedrückt. Es war dies der atmosphärische Gasmotor, welcher 1867 auf der Pariser Weltausstellung neben mehreren französischen Maschinen von Lenoir und Hugon ausgestellt war. Letztere ähnelten in ihrer ganzen Anordnung sehr der Watt'schen doppeltwirkenden Dampfmaschine, während ihre Wirkungsweise mehr derjenigen der Heißluftmaschinen glich.

Dem energischen Auftreten des Ausstellungskommissars, Geheimen Regierungsrates Reuleaux, ist es vor allem zu verdanken, daß auf der Pariser Ausstellung demjenigen Gasmotor der Preis zuerteilt werden sollte, welcher bei gleicher Leistung den geringsten Gasverbrauch zeigte. Nach eingehenden Versuchen stellte sich heraus, daß der Gasverbrauch bei den Maschinen von Lenoir zu Hugon zu Otto und Langen sich verhielt wie 10 zu 6 zu 4. Demgemäß wurde der Maschine von Otto und Langen die goldene Medaille zuerkannt. Nach diesem Erfolge suchte Otto seinen Gasmotor, dem noch verschiedene Mängel anhafteten, zu verbessern. Er verließ das bisherige Prinzip der Kraftäußerung durch die atmosphärische Luft und ging zur direkten Einwirkung der bei der Explosion entwickelten Kraft auf den Kolben über. Er erfand den Hochdruckgasmotor, System Otto, welcher das Vorbild für alle Gas-, Petroleum-, Benzinmotoren 2c. geworden ist. Otto machte also bei seinem eigenen Gasmotor genau dasselbe, was James Watt bei der Newcomen'schen Dampfmaschine tat; bezeichnet man daher Watt als den Erfinder der Dampfmaschine, so muß man auch Otto als den Erfinder des Gasmotors nennen.

Die Otto'schen Gasmotoren werden von der Gasmotorenfabrik Deutz in Deutz bei Cöln, deren Begründer und Leiter Otto und Langen waren, gebaut. Bevor aber auf sie näher eingegangen wird, mögen noch einige allgemeine Bemerkungen Platz finden.

Als Kraftquelle dient für die Gasmotoren gewöhnlich das Leuchtgas, welches aus den Steinkohlen durch trockene Destillation hergestellt wird. Es hat ein spezifisches Gewicht von 0,4—0,6 und ist daher im Mittel nur halb so schwer als atmosphärische Luft. 1 cbm wiegt 0,54—0,65 kg, oder 1 kg nimmt einen Raum von etwa 1,5 cbm ein. Das Gas ist farblos, hat den bekannten durchdringenden Geruch und ist infolge seines Gehaltes an Kohlenoxydgas sehr giftig.

Wie außerordentlich verschieden die Zusammensetzung des Leuchtgases sein kann, geht aus der folgenden Übersicht (bei Knoke) hervor:

Bezeichnung der Stoffe	In 100 Raumteilen Gas waren enthalten:			
	Gas aus Cannel-Kohle	Berliner Leuchtgas Oberschles. Kohle	Hannoversches Leuchtgas	Charlottenburger Leuchtgas
$C_n H_{2n}$ = schwere Kohlenwasserstoffe .	24,50	4,61	3,17	4,00
CH_4 = Sumpfgas-(Methan) . . .	58,38	32,70	37,55	29,60
H = Wasserstoff . .	10,54	49,75	46,27	50,60
CO = Kohlenoxydgas	6,58	9,54	11,19	9,90
Kohlensäure CO_2, Sauerstoff O, Stickstoff N	—	3,40	1,82	5,90

Es ist deshalb schwer, allgemein anzugeben, wieviel WE bei der Verbrennung eines cbm Gases entstehen. Nach den Angaben von Slaby läßt sich die Anzahl Wärmeeinheiten A bei den schweren Kohlenwasserstoffen aus folgender Gleichung finden:

$$A = 1000 + 10\,500\ s,$$

wenn s ihr spezifisches Gewicht ist. Ferner liefert ein cbm Sumpfgas beim Verbrennen 8500 WE, Wasserstoff 2570 WE und Kohlenoxydgas 3040 WE.

Bei dem Charlottenburger Leuchtgas hatten die schweren Kohlenwasserstoffe ein spezifisches Gewicht von 1,72; demnach entwickelte 1 cbm beim Verbrennen $1000 + 10500 \cdot 1{,}72 = 19060$ WE. Nach obigen Angaben liefert also 1 cbm Charlottenburger Leuchtgas, bestehend aus:

0,040 cbm	schweren Kohlenwasserstoffen .	$0{,}040 \cdot 19060 =$	762 WE,
0,296 „	Sumpfgas (Methan) . . .	$0{,}296 \cdot 8500 =$	2516 „
0,506 „	Wasserstoff	$0{,}506 \cdot 2570 =$	1300 „
0,099 „	Kohlenoxydgas	$0{,}099 \cdot 3040 =$	301 „
		Zusammen . .	4879 WE.

Gewöhnlich rechnet man, daß 1 cbm Leuchtgas beim Verbrennen 5000 WE. liefert.

Kohlensäure und Stickstoff verbrennen nicht, sie geben also keine Wärme, während der Sauerstoff die Verbrennung bewirkt und deshalb in den obigen Werten berücksichtigt wurde.

Nach den Versuchen von Dr. P. Eitner in Karlsruhe ist ein Gemisch von Leuchtgas ($H = 50{,}8\%$; $CH_4 = 34{,}6\%$; $CO = 7{,}1\%$; schwere Kohlenwasserstoffe $4{,}3\%$; $CO_2 + O + N = 3{,}3\%$) mit atmosphärischer Luft innerhalb der in folgender Tabelle angegebenen Grenzen zur Explosion, d. h. zu einer plötzlich eintretenden Verbrennung zu bringen.

Leuchtgas und Luft (feucht).

Temperatur 14,5° C. Wasserdampf 1,6%.

		Zusammensetzung der Mischung		Versuchsergebnis
		Leuchtgas Vol. %	Luft Vol. %	
	1.	7,3	92,7	keine Explosion.
	2.	7,8	92,2	
untere Grenze	3.	8,0	92,0	Explosionsbereich.
	4.	8,2	91,8	
mittlerer Wert etwa		16	84	
	5.	18,2	81,8	
	6.	19,0	81,0	
obere Grenze	7.	19,2	80,8	keine Explosion
	8.	19,4	80,6	

Hiernach kann also nur eine Explosion im Zylinder eines Gasmotors eintreten, wenn ein Gemisch vorhanden ist, das wenigstens aus 8 Raumteilen Leuchtgas und 92 Raumteilen Luft und höchstens aus 19 Raumteilen Leuchtgas und 81 Raumteilen Luft besteht; sind mehr als 19 oder weniger als 8 Raumteile Leuchtgas vorhanden, so tritt keine Explosion ein. Ein gutes Mischungsverhältnis bilden 16 Raumteile Leuchtgas mit 84 Raumteilen Luft, also 1 : 5,25. Es scheint, als ob diese Explosionsgrenzen keine wesentliche Verschiebung erleiden, wenn das Gemisch zusammengepreßt wird. Dagegen wird die Explosionswirkung um so heftiger, je mehr das Gemisch komprimiert ist.

Ein guter Gasmotor verbraucht je nach der Größe für eine Nutzpferdestärke in der Stunde 0,4—0,6, im Mittel 0,5 cbm Leuchtgas (10—12 pferd. Motor), das $0{,}5 \cdot 5000 = 2500$ WE entwickelt und einer mechanischen Energie von $2500 \cdot 424 = 1060000$ mkg entspricht. Eine Nutzpferdestärke in der Stunde ist $75 \text{ mkg} \cdot 60 \cdot 00 = 270000$ mkg, demnach ist der wirtschaftliche Nutzeffekt

$$g_w = \frac{270\,000}{1\,060\,000} = 0{,}25.$$

Berücksichtigt man aber, daß aus 100 kg Steinkohlen etwa 29 cbm Leuchtgas gewonnen werden, und somit für die Herstellung von 0,5 cbm Gas $\frac{100 \cdot 0{,}5}{29} = 1{,}72$ kg Steinkohlen erforderlich sind, und daß diesen $1{,}72 \cdot 7300 = 12556$ WE (1 kg Steinkohle = 7300 WE) entsprechen, deren mechanische Energie $12\,556 \cdot 424 = 5\,323\,744$ mkg ist, so wird der wirtschaftliche Nutzeffekt

$$g_w = \frac{270\,000}{5\,323\,744} = 0{,}051.$$

Bei der zehnpferdigen Dampfmaschine ergab sich ein $g_w = 0{,}042$, d. h. die Wirtschaftlichkeit der Dampfmaschine verhält sich zu derjenigen der Gaskraftmaschine wie 42 : 51. Letztere ist der ersteren also erheblich überlegen.

Diese Überlegenheit wurde nur dadurch erreicht, daß Otto den Viertakt und damit den Hochdruckgasmotor ausführte. Er benutzte nämlich zur Erzeugung des für die Explosion erforderlichen Gemisches von Gas und atmosphärischer Luft den im Zylinder beweglichen Kolben als Pumpenkolben, das heißt, er ließ den Kolben auf seinem Wege durch den Zylinder in der Richtung nach der Kurbelachse hin Gas und atmosphärische Luft ansaugen (Saugperiode). Hierauf mußte der Kolben auf seinem Wege durch den Zylinder in entgegengesetzter Richtung, also in der Richtung von der Kurbelachse fort, das Gemisch zusammendrücken (komprimieren) (Kompressionsperiode). Wenn der Kolben die Kompression beendet hat, findet die Entzündung des Gemisches und die Kraftentwicklung in dem Zylinder statt. Der Kolben wird dann durch die auf ihn wirkende Kraft in der Richtung nach der Kurbelachse hin durch den Zylinder getrieben und leistet auf diesem Wege Arbeit (Arbeitsperiode). Bei dem nunmehr stattfindenden Rückgange treibt der Kolben die von der Explosion herrührenden und im Zylinder enthaltenen Verbrennungsprodukte aus (Ausblasperiode).

Alsdann beginnt wieder die Saugperiode und damit dasselbe Spiel von neuem. Wenn der Kolben demnach viermal den Zylinder durcheilt oder das Schwungrad zwei ganze Umdrehungen macht, so haben sich diese 4 Perioden einmal wiederholt, es hat daher auch nur eine Zündung stattgefunden.

Hiernach muß eine Gaskraftmaschine aus folgenden Teilen bestehen:

1. einem Zylinder, in dem die Explosion stattfindet, mit Kühlvorrichtung,
2. einem beweglichen Kolben in dem Zylinder und einer Vorrichtung zur Umwandlung der hin- und hergehenden Bewegung des Kolbens in die drehende des Schwungrades (Schubstange und Kurbelmechanismus oder Kolbenstange, Kreuzkopf, Schubstange und Kurbelmechanismus),
3. einer Gaszuführungs- und einer Luftzuführungsvorrichtung, und damit verbunden,
4. einer Gasgemischeinlaßvorrichtung,
5. einer Gasgemischzündvorrichtung,
6. einer Auslaßvorrichtung für die verbrannten Gase,
7. einer Vorrichtung zur Betätigung der Ventile und der Zündvorrichtung (Steuerwelle, Hebel usw.),
8. einer Vorrichtung zur Regelung der Umdrehungszahl des Schwungrades; diese bildet selbstredend keinen notwendigen Bestandteil des Motors, weil er auch ohne sie laufen kann. Sie ist aber aus praktischen Gründen erforderlich.

Es ist nun ohne weiteres klar, daß die Einlaß-, Auslaß- und Zündvorrichtung bei je zwei Schwungradumdrehungen nur einmal in Tätigkeit treten dürfen, sie können also von einem gemeinsamen Teile der Maschine bewegt werden (Steuerwelle), der die halbe Anzahl Umdrehungen wie das Schwungrad macht. Die Bewegung der Ventile geschieht vielfach in der Weise, daß sie durch Federdruck geschlossen und durch Nocken oder unrunde Scheiben geöffnet werden.

Von besonderer Wichtigkeit ist für alle Verbrennungskraftmaschinen, daß die Entzündung des Gasgemisches genau zur richtigen Zeit und dann auch mit Sicherheit eintritt. Falls die Zündung zu früh stattfindet, hat der Kolben seinen Hub (Kompression) noch nicht beendet und deshalb auf dem letzten Teile seines Weges den ganzen Druck der bei der Verbrennung entstehenden Gase zu überwinden,

wodurch gewöhnlich heftige Stöße in den Schubstangenlagern der Maschine auftreten. Tritt aber die Zündung zu spät ein, so hat schon der Kolben einen Teil seines Weges (Arbeitsperiode) zurückgelegt, wenn die treibende Kraft zur Wirkung kommt, sie kann also nur unvollkommen ausgenutzt werden.

Bei den Gaskraftmaschinen wendet man jetzt fast ausschließlich Glührohrzündung oder magnet.-elektrische Zündapparate an.

Das Glührohr ist ein kleines Porzellanrohr, das an dem einen Ende geschlossen und an dem anderen mit einer Vorrichtung zur Befestigung am Zylinder versehen ist. Die Zündwirkung beruht darauf, daß während der Ausblasperiode die Verbrennungsgase, die durch eine

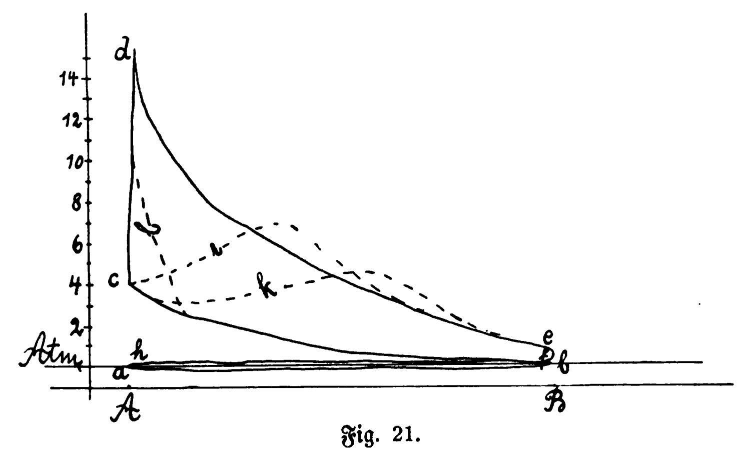


Fig. 21.

Bohrung aus dem Zylinderinnern in das Glührohr eintreten, in ihm bleiben müssen, weil sie aus dem geschlossenen Raum nicht heraus-können. Während der darauf stattfindenden Saugperiode müssen die Gase ebenfalls darin bleiben, weil sie nicht herausgesaugt werden können. Wenn dann die Kompression eintritt, müssen die mit dem Zylinderinnern in offener Verbindung stehenden Gase in der Bohrung und dem Glührohr ebenfalls komprimiert werden. Hat die Kompression so weit stattgefunden, daß das frische Gemisch aus dem Zylinder an die glühende Stelle des Glührohrs gelangt, so findet Zündung statt.

Ueber die Vorgänge im Innern des Zylinders gibt wieder das Indikatordiagramm Auskunft. Nach den Ausführungen auf Seite 3 läßt es sich leicht konstruieren. Auf der Nullinie (Fig. 21) bezeichnet

AB den verkürzten Kolbenhub. Gesetzt nun, der Kolben befände sich in der A entsprechenden Stelle und ginge, das Gasgemisch ansaugend, nach B, dann ist das Einlaßventil für das Gasgemisch geöffnet, die atmosphärische Luft und das Gas können eintreten, es wird also im Zylinder ein Druck herrschen, der ungefähr dem der Atmosphäre entspricht und deshalb im Diagramm eine Linie ab eben unter der atmosphärischen entstehen. Bei dem Rückgang des Kolbens von B nach A sind das Einlaß- und Auslaßventil geschlossen, somit findet die Kompression des Gasgemisches statt, wodurch der Druck im Zylinder vor dem Kolben allmählich größer wird, bis er in A seinen Höhepunkt c erreicht hat, es ist also bc die Kompressionskurve. In c findet bei geschlossenen Ventilen die Zündung statt, der Druck steigt plötzlich sehr stark bis d, demnach ist cd die Druckzunahme bei der Explosion. Jetzt wird der Kolben ebenfalls bei geschlossenen Ventilen arbeitsverrichtend von A nach B getrieben, wobei der Druck fortwährend abnimmt, de gibt also den Druck während der Arbeitsperiode an. Sobald der Kolben beinahe bis B (bis e) gekommen ist, öffnet sich schon das Ausblasventil, der Druck fällt sehr schnell bis f, worauf dann beim Rückgang des Kolbens von B bis A die Ausblasperiode stattfindet, während welcher im Zylinder ein Druck ist, der nur ein wenig den äußeren Atmosphärendruck übersteigt, er wird dargestellt durch die über ab gelegene Linie fh. Die beiden Punkte a und h liegen sehr nahe bei einander. Beim Beginn der Saugperiode fällt der Druck schnell von h bis auf a.

Erhält man beim Indizieren ein anderes Diagramm, so ist an der Maschine etwas nicht in Ordnung. Es kann nun sein:

1. daß die Linie ab nicht nahe an der atmosphärischen Linie liegt, sondern weiter von ihr entfernt ist, dann muß hinter dem Kolben bei der Saugperiode ein zu starkes Vakuum vorhanden sein, d. h. es kann das Gasgemisch von außen nicht schnell genug in den Zylinder eintreten. Das Gemischeinlaßventil oder das Lufteinlaßventil gewährt einen zu geringen Einströmungsquerschnitt (Verschmutzung, Festsitzen der Ventile 2c.);

2. daß die Kompression bei A (ac) nicht die erforderliche Größe hat, dann muß etwas undicht sein; es sind entweder die Ventile oder die Kolbenringe;

3. daß die Linie cd nicht steil ansteigt, sondern etwa einen Verlauf nimmt, wie ihn die punktierte Linie i darstellt; dann ist zwar in

der Endstellung des Kolbens die Zündung erfolgt, aber die Verbrennung zu langsam gewesen, was meistens auf ein unrichtiges Gasgemisch zurückzuführen ist. Nimmt aber die Arbeitskurve den Verlauf k, d. h. deckt sie sich eine Weile mit cb und erhebt sich dann, so ist die Zündung zu spät eingetreten. Der Kolben ist schon so schnell in Bewegung, daß die wegen der ungenügenden Kompression langsam auftretende Verbrennung nicht folgen kann. Wenn die Kurve l entsteht, die sich von bc erhebt, bevor noch der Kolben seine Endstellung erreicht hat, so ist eine Frühzündung eingetreten. Bei unrichtigem Gasgemisch, unrichtiger Zündung und schlechtem Schluß der Ventile geht, wie das Diagramm zeigt, viel mechanische Energie verloren;

4. daß im Punkte e die Kurve nicht schnell abfällt und die Linie fb nicht nahe an der atmosphärischen Linie liegt, dann hat das Ausblasventil nicht schnell genug geöffnet, so daß während der Ausblasperiode ein zu hoher Druck vorhanden war. Das Ausblasventil hat einen zu geringen Ausströmungsquerschnitt (Verschmutzung).

Schon auf Seite 15 wurde nachgewiesen, daß der Inhalt der Fläche b c d e f die indizierte Leistung auf einen qcm Querschnitt des Kolbens während einer Arbeitsperiode ist. Ermittelt man nun, wie es dort angegeben, den mittleren Druck p_m, so ist der Druck, der auf den Kolben wirkt, $\frac{d^2\pi}{4} p_m$ und der Weg, den der Kolben in einer Sekunde arbeitleistend zurücklegt, $\frac{2nH}{60 \cdot 4}$, demnach ist die Arbeit in PS

$$N_i = \frac{d^2\pi}{4} \cdot \frac{p_m}{75} \cdot \frac{2nH}{60 \cdot 4} = \frac{p_m}{75} \cdot \frac{d^2\pi}{4} \cdot \frac{nH}{120}$$

Wäre nun z. B. $p_m = 3{,}26$ kg gefunden und $d = 17$ cm, also $\frac{d^2\pi}{4} = 226{,}98$ qcm, $n = 210$ und $H = 0{,}28$ m, so ist

$$N_i = \frac{3{,}26 \cdot 226{,}98 \cdot 210 \cdot 0{,}28}{75 \cdot 120}$$

$$N_i = 4{,}8 \text{ PS}.$$

Die Nutzpferdestärken (N_e oder PS_e) werden ebenso ermittelt, wie das auf Seite 17 angegeben ist.

In Bezug auf den Ort der Aufstellung ist zu erwähnen, daß die Gasmotoren in jedem Lokal, ja sogar in den oberen Stockwerken bewohnter Räume aufgestellt werden können. Haupterfordernisse sind

nur, daß eine Gasleitung vorhanden ist, und daß der Motor gut fundamentiert werden kann. Im allgemeinen lassen sich drei verschiedene Arten der Fundamentierung unterscheiden und zwar:

1. der Gasmotor kann auf einem Quadersteinfundament durch Steinschrauben, welche in dem Stein mit Blei oder Zement zu vergießen sind, befestigt werden (für Motoren bis 6 PS; wird selten ausgeführt);
2. der Gasmotor kann auf einem Fundament Aufstellung finden, welches aus hartgebrannten Ziegelsteinen in Zement aufgeführt wird. Die Befestigung geschieht durch eingemauerte Ankerplatten und Bolzen;
3. der Gasmotor kann auf dünnem gußeisernen Fundamentbock, der sich auf dem Fußboden oder dem Gebälk gut durch Schrauben befestigen läßt, aufgestellt werden.

Diese letztere Art der Fundamentierung wird namentlich angewendet, wenn der Gasmotor in den Stockwerken bewohnter Häuser seinen Platz finden soll, während die beiden ersten sich gut zur Fundamentierung auf der ebenen Erde eignen. Ein besonderes Augenmerk ist darauf zu richten, daß alle Teile unter der Maschine, sei es Erdboden, Mauerwerk (Gewölbe), Gebälk 2c., auch tragfähig sind, das heißt, die unter dem Fundament gelegenen Teile müssen die Last des Motors nicht allein sicher tragen können, sondern auch eine Gewähr dafür bieten, daß während des Betriebes keine Sackungen eintreten. Die Maschine darf daher nie auf angefaulte Fußbodenbalken oder auf aufgeschütteten Erdboden fundamentiert werden.

Wenn stehende Gasmotoren in der Nähe von Nachbargrundstücken aufgestellt werden müssen, so entstehen durch die Schallübertragung in der Erde leicht Belästigungen. In solchen Fällen stellt man zweckmäßig den Gasmotor auf einige Pfähle, die senkrecht in den Erdboden gerammt sind und mit der Spitze bis unter das Fundament des Nachbargebäudes hinabreichen.

Es scheint immer geraten zu sein, daß derjenige, welcher einen Gasmotor aufstellen will, sich hinsichtlich der Errichtung des Fundaments und der Befestigung der Maschine selbst an die den Motor liefernde Fabrik wendet. Bei der Aufstellung ist noch besonders darauf zu achten, daß die Kurbellager und der Zylinder genau horizontal liegen und der Rahmen der Gasmaschine beim Festschrauben nicht verspannt wird.

Außer für eine sichere Fundamentierung ist, wie aus dem Vorhergehenden schon ohne weiteres hervorgehen dürfte, noch zu sorgen:

1. für die Gaszuleitung zu der Maschine und zu der Heizflamme,
2. für die Ableitung der Verbrennungsprodukte,
3. für die Luftzuleitung und
4. für die Kühlung des infolge der Explosionen stark erhitzten Zylinders.

Was nun zunächst die Gaszuleitung betrifft, so erfolgt sie durch Gasröhren, die mit der vorhandenen Gasleitung in Verbindung stehen und deren Durchmesser sich nach der Größe des Motors richtet. Das Gas hat, bevor es in den Zylinder der Maschine und in das Rohr für die Flamme des Glührohrs treten kann, noch den Gasmesser (Gasuhr) zu passieren, dessen Größe von der Größe des Motors abhängig ist.

Da der Gasmotor das Gas aus der Leitung nur während der Saugperiode, also innerhalb gewisser Pausen plötzlich entnimmt, so ist noch die Einschaltung eines elastischen Vorratsbehälters, welcher meistens ein Gummibeutel (auch Gasbeutel genannt) ist, in die Gaszuleitung möglichst in der Nähe des Motors erforderlich. Ein solcher Gummibeutel muß im aufgeblähten Zustande etwa für 10—15 Zylinderfüllungen Gas enthalten; genügt ein Beutel nicht, so schaltet man deren mehrere hintereinander ein. Zum Speisen des Rohrzünders (Erhitzen des Glühröhrchens) ist ein geringster Gasdruck von 20 mm Wassersäule*) erforderlich.

Sollen außer dem Gasmotor noch Gasbeleuchtungsflammen**) gespeist werden, so sind die Rohrdurchmesser selbstredend entsprechend größer zu wählen.

---

*) Wenn man einem an beiden Enden offenen, graden, etwa 60 cm langen Glasrohr die Form eines großen lateinischen U gibt, die Schenkel dann etwa zur Hälfte voll Wasser gießt und den einen derselben mit der Gasleitung durch einen Gummischlauch in Verbindung bringt, so wird in den beiden Schenkeln das Wasser infolge des Gasdruckes verschieden hoch stehen. Je größer der Gasdruck, desto größer ist dieser Höhenunterschied; man kann auf diese Weise also leicht den Gasdruck messen. Ist der Höhenunterschied z. B. 20 mm, so sagt man, es ist ein Gasdruck von 20 mm Wassersäule vorhanden.

**) Viele Gasanstalten gestatten das nicht, weil sie das Gas für Kraftmaschinen billiger berechnen als das für Beleuchtungszwecke.

In den Fällen, wo trotz des Gummibeutels ein Zucken der benachbarten Gasbeleuchtungsflammen stattfindet, empfiehlt sich die Einschaltung eines besonders hierfür konstruierten Gasdruckregulators. Durch einen Haupthahn kann der Gaszufluß abgesperrt oder eingestellt werden, ebenso ist eine besondere kleine Absperrvorrichtung in der Gasleitung zum Rohrzünder vorhanden.

Die Ableitung der Verbrennungsprodukte geschieht durch ein am Zylinder des Auslaßventils befestigtes Auspuffrohr, welches für Gasmotoren bis zu 8 Pferdestärken aus gutem schmiedeeisernen Gasrohr, für Maschinen über 8 Pferdestärken aber aus guten gußeisernen Röhren besteht. In diese Auspuffleitung schließt sich der Auspufftopf, aus welchem die Verbrennungsgase durch ein senkrechtes Rohr ins Freie geführt werden. Man hüte sich, dieses Rohr in einen Kamin, Kanal oder irgend einen Schacht zu leiten, weil zuweilen noch unverbrannte Gase entweichen, welche dann durch ihre Explosion in dem Kamin etc. Schaden anrichten können.

Der Auspufftopf soll das Geräusch der ausströmenden Gase verringern, das sich bildende Kondensationswasser und die aus dem Zylinder mitgerissenen Schmiermittelteile aufnehmen. Unter bestimmten Umständen kann es bei größeren Motoren erforderlich werden, daß mehrere Auspufftöpfe hintereinander eingeschaltet werden müssen. Jeder Topf ist mit einer Vorrichtung zum Ablassen des Kondensationswassers versehen, was alle 1—? Tage zu geschehen hat und namentlich im Winter bei Frostwetter nicht vergessen werden darf, damit der Topf nicht einfriert.

Die durch das Auspuffrohr entweichende Wärme kann unter Umständen zu Heizungszwecken verwendet werden.

Um das Geräusch [illegible] während der Auspuffperiode [illegible] zu vermindern, wird [illegible] unter dem [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] ein Auspufftopf [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible].

[illegible] [illegible] [illegible] [illegible] der Verbrennung im Zylinder [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] Leitung der [illegible].

Das Wasser tritt durch das Rohr s (Fig. 22) in den Hohlraum zwischen äußerer Zylinderwandung und dem Mantel ein und entweicht, nachdem es sich erwärmt, an der höchsten Stelle durch das Rohr s_1. Damit das Schmieröl im Innern des Zylinders nicht verdampft und dadurch die Schmierung aufhört, darf das abfließende Wasser nur eine Temperatur von höchstens 70° haben.

Je nach dem Druck, welcher in der Wasserleitung vorhanden ist, nimmt man den lichten Durchmesser der Zuflußleitung 8—16 mm weit, jedenfalls muß für jede Pferdekraft und Stunde eine Wassermenge von 40 Litern hindurchfließen können. Für einen 6pferdigen Gasmotor müßten demnach, wenn derselbe 10 Stunden im Betrieb

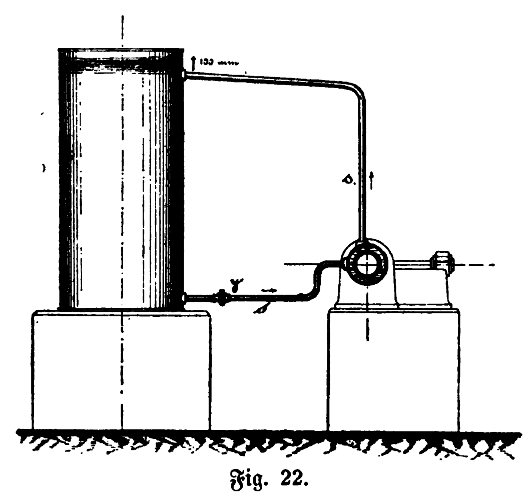


Fig. 22.

ist, $6 \cdot 10 \cdot 40 = 2400$ Liter Wasser durch die Zuleitung dem Motor zugeführt werden können. Um die Temperatur des abfließenden Wassers und die Menge beobachten zu können, läßt man es aus dem Rohr s_1 in einen etwas tiefer liegenden Trichter des Abflußrohres frei eintreten.

In Fig. 22 ist ein Kühlgefäß mit seinen Rohranschlüssen nach dem Gasmotor dargestellt. Durch das Rohr s, in welchem ein Dreiwegehahn y zum Absperren, Einschalten und Leerlaufen des Kühlgefäßes vorhanden ist, tritt das Wasser in den Hohlraum zwischen Zylinder und Mantel, sodann fließt es nach dem Kühlgefäß durch das stets ansteigende Rohr s_1, welches mindestens 100 mm unter dem Wasser-

In den Fällen, wo trotz des Gummibeutels ein Zucken der benachbarten Gasbeleuchtungsflammen stattfindet, empfiehlt sich die Einschaltung eines besonders hierfür konstruierten Gasdruckregulators. Durch einen Haupthahn kann der Gaszufluß abgesperrt oder angestellt werden, ebenso ist eine besondere kleine Absperrvorrichtung in der Gasleitung zum Rohrzünder vorhanden.

Die Ableitung der Verbrennungsprodukte geschieht durch ein am Stutzen des Auslaßventils befestigtes Ausblaserohr, welches für Gasmotoren bis zu 8 Pferdestärken aus gutem schmiedeeisernen Gasrohr, für Maschinen über 8 Pferdestärken aber aus guten gußeisernen Röhren besteht. An diese Ausblaseleitung schließt sich der Ausblasetopf, aus welchem die Verbrennungsgase durch ein senkrechtes Rohr ins Freie geführt werden. Man hüte sich, dieses Rohr in einen Kamin, Kanal oder irgend einen Behälter zu leiten, weil zuweilen noch unverbrannte Gase entweichen, welche dann durch ihre Explosion in dem Kamin 2c. Schaden anrichten können.

Der Ausblasetopf soll das Geräusch der ausströmenden Gase verringern, das sich bildende Kondensationswasser und die aus dem Zylinder mitgerissenen Schmierrückstände aufnehmen. Unter bewohnten Räumen kann es bei größeren Motoren erforderlich werden, daß mehrere Ausblasetöpfe hintereinander eingeschaltet werden müssen. Jeder Topf ist mit einer Vorrichtung zum Ablassen des Kondensationswassers versehen, was alle 1—3 Tage zu geschehen hat und namentlich im Winter bei Frostwetter nicht vergessen werden darf, damit der Topf nicht einfriert.

Die durch das Ausblaserohr entweichende Wärme kann unter Umständen zu Heizungszwecken verwendet werden.

Um das Geräusch beim Luftansaugen (während der Saugeperiode) möglichst zu verringern, wird unmittelbar unter dem möglichst kurz zu bemessenden Saugrohr zweckmäßig noch ein Ansaugetopf eingeschaltet. Er ist unten mit Löchern versehen, durch welche die Luft in den Topf tritt. Daß für seine peinlichste Reinhaltung Sorge getragen wird, versteht sich wohl von selbst.

Wie schon erwähnt, entwickelt sich bei der Verbrennung im Zylinder eine beträchtliche Wärme, so daß eine fortgesetzte Abkühlung der Zylinderwandungen unbedingt erforderlich ist. Sie läßt sich in zweifacher Weise erreichen, indem entweder der Motor an eine vorhandene Druckwasserleitung oder an besondere Kühlgefäße angeschlossen wird.

Das Wasser tritt durch das Rohr s (Fig. 22) in den Hohlraum zwischen äußerer Zylinderwandung und dem Mantel ein und entweicht, nachdem es sich erwärmt, an der höchsten Stelle durch das Rohr s_1. Damit das Schmieröl im Innern des Zylinders nicht verdampft und dadurch die Schmierung aufhört, darf das abfließende Wasser nur eine Temperatur von höchstens 70° haben.

Je nach dem Druck, welcher in der Wasserleitung vorhanden ist, nimmt man den lichten Durchmesser der Zuflußleitung 8—16 mm weit, jedenfalls muß für jede Pferdekraft und Stunde eine Wassermenge von 40 Litern hindurchfließen können. Für einen 6pferdigen Gasmotor müßten demnach, wenn derselbe 10 Stunden im Betrieb

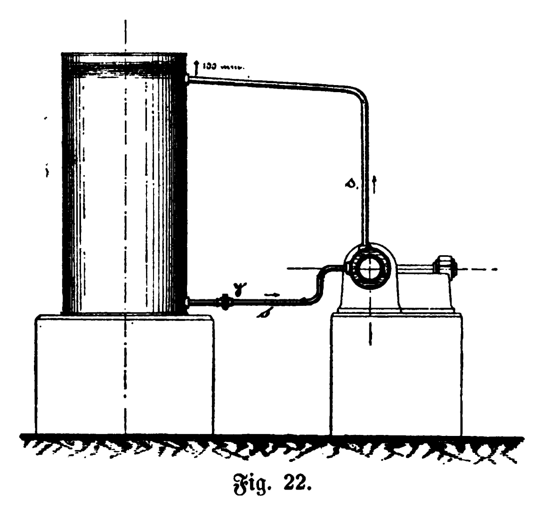


Fig. 22.

ist, $6 \cdot 10 \cdot 40 = 2400$ Liter Wasser durch die Zuleitung dem Motor zugeführt werden können. Um die Temperatur des abfließenden Wassers und die Menge beobachten zu können, läßt man es aus dem Rohr s_1 in einen etwas tiefer liegenden Trichter des Abflußrohres frei eintreten.

In Fig. 22 ist ein Kühlgefäß mit seinen Rohranschlüssen nach dem Gasmotor dargestellt. Durch das Rohr s, in welchem ein Dreiwegehahn y zum Absperren, Einschalten und Leerlaufen des Kühlgefäßes vorhanden ist, tritt das Wasser in den Hohlraum zwischen Zylinder und Mantel, sodann fließt es nach dem Kühlgefäß durch das stets ansteigende Rohr s_1, welches mindestens 100 mm unter dem Wasser-

spiegel einmündet, zurück. In dem Kühlgefäß selbst findet eine fortwährende Zirkulation des Wassers statt, da das schwere, kältere Wasser stets zu Boden sinkt. Von Zeit zu Zeit muß das in dem Gefäß an der Oberfläche verdunstende Wasser durch Nachfüllen ersetzt werden. Während des Betriebes darf selbstredend kein Umrühren des Wassers stattfinden, weil dadurch die Zirkulation gestört würde. Das Kühlgefäß wird zweckmäßig so aufgestellt, daß der Boden nur unerheblich tiefer liegt, als der untere Zylinderteil des Motors; höher kann das Kühlgefäß ohne Beeinträchtigung seiner Wirkung gut aufgestellt werden. Der Inhalt muß etwa 40 Liter für die Pferdestärke und Stunde betragen, so daß demnach ein 4pferdiger Motor für einen 10stündigen Betrieb ein Kühlgefäß von $4 \cdot 10 \cdot 40 = 1600$ Liter Inhalt haben muß.

Es sei noch erwähnt, daß alle mit Wasser gefüllten Teile bei Frostwetter vor dem Einfrieren sorgfältig zu schützen sind; am ratsamsten ist es, alle Teile, in denen sich Wasser befindet, nach Einstellung des Betriebes völlig zu entleeren.

Nachdem im Vorstehenden die Wirkungsweise und Aufstellung des Gasmotors im wesentlichen beschrieben sind, bleibt noch etwas über die Behandlung, In- und Außerbetriebsetzung zu sagen.

In Bezug auf den Aufstellungsraum ist noch zu beachten, daß man alle Kraftmaschinen, bei denen gesundheitsschädliche oder feuergefährliche Gase entweichen können, zu denen auch der Gasmotor gehört, so unterbringt, daß der Aufstellungsraum von den Arbeitsräumen vollständig durch Wände abgeschlossen ist. Etwa in den Mauern befindliche Türen müssen, vom Aufstellungsraum aus betrachtet, nach außen aufschlagen. Die Antriebswelle für die Arbeitsmaschine ist in einer dichten Buchse durch die Wand zu führen, der Treibriemen darf nicht durch die Wand geleitet sein. Ferner ist für gute Beleuchtung von außen und vor allem für gute Lüftung zu sorgen, damit in dem Raum, wenn irgendwo eine Undichtigkeit entstehen sollte, keine Explosion auftreten kann.

Der Besitzer eines Gasmotors vertraue die Wartung nur einem Manne an, der gewissenhaft, zuverlässig und mit der Wirkungsweise des Motors völlig vertraut ist, und der überdies Lust und Geschick zu einem solchen Posten zeigt. Die Hauptbedingung für die Erhaltung eines Motors ist peinlichste Sauberkeit; sofort nach der Außerbetriebsetzung muß daher alles herabgetropfte Schmieröl mit weicher Putzwolle sauber abgewischt werden. Von Zeit zu Zeit sind einzelne Teile, wie

Zündrohr, Kolben und Ventile, abzunehmen und ebenfalls sorgfältig zu reinigen. Befindet sich ein Gasmotor täglich im Betriebe, so muß etwa alle 14 Tage eine größere Reinigung stattfinden. Vor dem Zusammensetzen sind alle Teile gut zu ölen.

Bei Verwendung von gutem Schmieröl ist die Herausnahme und Reinigung des Kolbens nur etwa alle 6 Monate erforderlich. Man löst die Pleuelstange von der Kurbel, öffnet das Auslaßventil ein wenig und zieht Pleuelstange und Kolben behutsam vor, achte aber besonders darauf, daß der Kolben und die Kolbenringe nicht beschädigt werden. Nunmehr löse man die festsitzenden Kolbenringe unter Zuhilfenahme von Petroleum und nehme sie dann in der Weise ab, daß man zunächst an einer Stelle den Ring behutsam vom Kolben abzieht und zwischen Ring und Kolben ein Stückchen Weißblech schiebt, hierauf wiederhole man dasselbe an einer zweiten, dritten und event. vierten Stelle, bis sich der Ring bequem abstreifen läßt. Zerbrochene Ringe benutze man niemals wieder; sind Ersatzringe nicht zur Hand, so setze man den Kolben unter Weglassung der zerbrochenen Ringe ein, achte aber darauf, daß die Stoßfugen der Ringe zwar gegeneinander versetzt, aber alle an der unteren Kolbenseite anliegen.

Die innere Zylinderwandung ist unter Vermeidung aller scharfen und harten Teile, wie Schabeeisen, Messer &c., ebenfalls sorgfältig zu reinigen. Die Putzwolle darf nicht sandig sein, auch dürfen die einzelnen Teile, wie Kolben, Kolbenringe &c., nie auf den Fußboden gelegt oder gestellt werden, da ein anhaftendes Sandkorn im Betriebe diese Teile beschädigt.

Das Auslaßventil muß zeitweise auf seinen dichten Verschluß geprüft werden, da bei Undichtigkeit während der Kompressionsperiode Gasverluste auftreten. Stellt sich bei der Untersuchung heraus, daß es undicht ist, so muß es mit feinem Schmirgel sorgfältig eingeschliffen werden.

Vor der Inbetriebsetzung des Motors sind alle arbeitenden Teile sorgfältig vom Schmutz zu reinigen, alle Reibungsflächen und Zapfen zu ölen und die Schmiergefäße gemäß den Vorschriften des Motorlieferanten zu füllen. Nachdem der Motor so vorbereitet ist, öffne man den Haupthahn und den Gaszuströmungshahn für die Heizflamme des Glüh- oder Zündröhrchens. Wenn dieses rotglühend geworden ist, stellt man die Vorrichtung zur Erleichterung des Andrehens ein und dreht das Schwungrad mit der Andrehkurbel etwa 2—4 mal

schnell herum, darauf läuft der Motor von selbst; nun stellt man die soeben erwähnte Vorrichtung ab und das Kühlgefäß durch Öffnen des Hahnes y (Fig. 22) oder die Wasserleitung an.

Die Außerbetriebsetzung erfolgt in der Weise, daß man zuerst den Haupthahn schließt, damit der Gummibeutel noch leergesaugt wird, dann die Heizflamme durch Schließen des betreffenden Hahnes löscht und das Kühlwasser durch Absperren des Hahnes y (Fig. 22) abstellt.

Bei richtiger Behandlung des Motors können im Betriebe nur selten Störungen eintreten; sie lassen sich, wenn sie auftreten, durch einen aufmerksamen Wärter gewöhnlich leicht beseitigen.

II. Besondere Ausführungsweisen.

1. Gasmotorenfabrik Deutz in Cöln-Deutz.

Wie auf jedem Gebiete, so muß namentlich auf dem des Baues von Verbrennungskraftmaschinen die Erfahrung lehren, welche Anordnung praktisch brauchbar ist. Die Gasmotorenfabrik Deutz hat seit nunmehr etwa 40 Jahren solche Erfahrungen gesammelt, von denen viele allgemein bekannt geworden sind und auch anderen Firmen als Richtschnur gedient haben. Sie hat auf diese Weise besondere Modelle von Gasmotoren ausgebildet, die allen berechtigten Anforderungen vollauf genügen und jetzt vornehmlich in den Handel gebracht werden. Davon kommen hier in Betracht:

a) liegende Anordnung
  1. Modell I, in Größen von 8—45 PS,
  2. Modell E_3, in Größen von 1—6 PS;

b) stehende Anordnung
  Modell D_3, in Größen von 1—5 PS.

Schon auf Seite 60 wurde erwähnt, daß Leuchtgas und atmosphärische Luft bei einem Mischungsverhältnis von 1 : 5,25 am wirksamsten verbrennt (explodiert), deshalb hat die Firma bei allen Motoren die Anordnung getroffen, daß dieses Mischungsverhältnis unverändert bleibt.

In Fig. 23 ist ein Bild des Motors Modell I gegeben. Zur näheren Erläuterung ist derselbe Motor in Fig. 24 nochmals in der Ansicht, in Fig. 25 im Längenschnitt und in Fig. 26 in der Aufsicht dargestellt. Darin bezeichnet a den kräftig ausgebildeten Maschinenrahmen, der fast in seiner ganzen Länge direkt auf dem Fundament ruht und deshalb vorzüglich gegen die Erschütterungen bei den

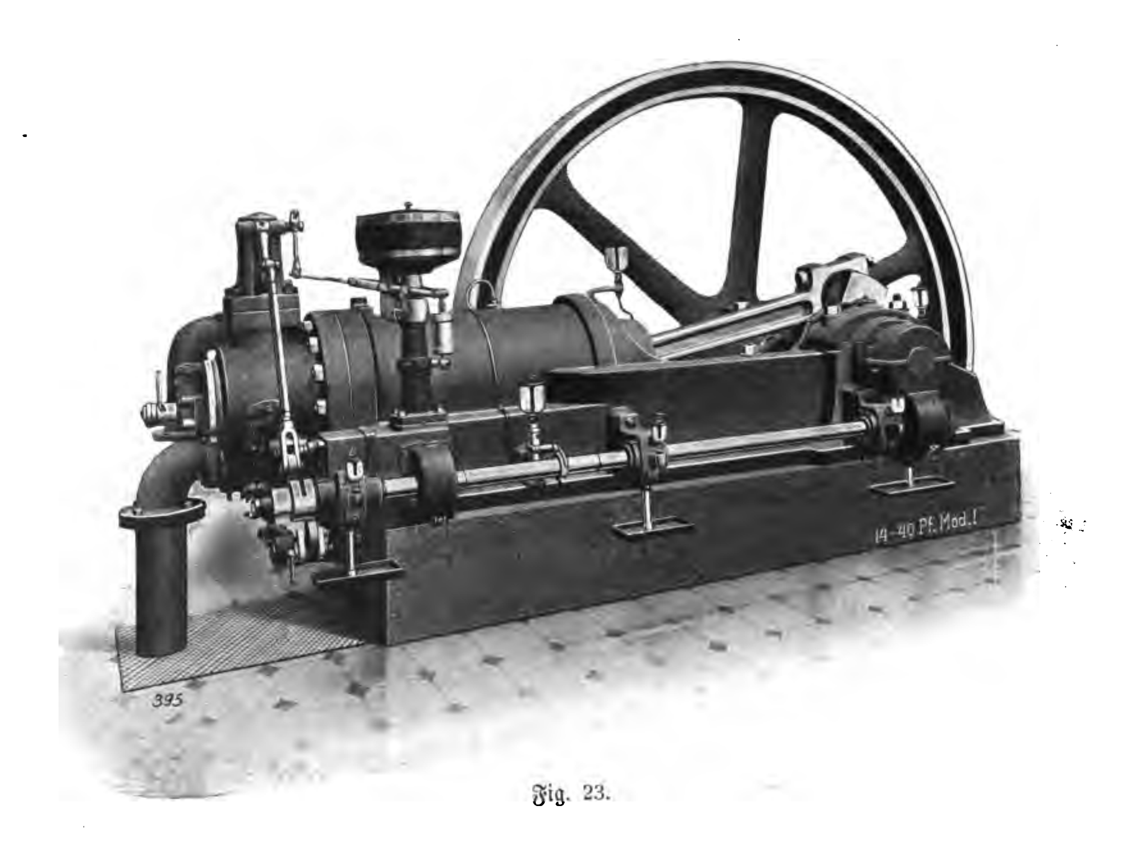


Fig. 23.

Explosionen insbesondere das lästige „Nicken der Maschine“ schützt. An seinem einen Ende nimmt er die Lager b für die Kurbelwelle c auf, an dem anderen ist er zylinderisch geformt und bildet den äußeren Kühlwassermantel d. In ihm ist ein anderer aus besonderem Hartguß hergestellter Zylinder e (Nr. 1 auf Seite 62) derartig eingesetzt, daß er sich entsprechend den hohen Temperaturen, die bei der Explosion entstehen, ungehindert ausdehnen und bei der Außerbetriebsetzung des Motors sich entsprechend der Abkühlung wieder zusammenziehen kann. Eine solche Beweglichkeit ist zur Vermeidung des Auftretens von schädlichen Spannungen dringend erforderlich. Zwischen dem zylindrischen Teil des Mantels d und dem Zylinder e befindet sich ein Hohlraum, der während des Betriebes mit dem zur Kühlung dienenden Wasser (Kühlvorrichtung Nr. 1 Seite 62) gefüllt ist.

An dem Rahmen sind ferner die Lager ff angegossen, die die Steuerwelle g (Nr. 7 Seite 62) tragen. Infolge dieser Anordnung ist sie nicht nur sehr sicher gelagert, sondern es kann auch bei einer Reparatur der Zylinderkopf h leicht abgenommen werden. In diesem sind leicht zugänglich übereinander das Gasgemischeinlaßventil i (Nr. 4 Seite 62) und das Ausströmventil p (Nr. 6 Seite 62) für die verbrannten Gase eingebaut. Die Bewegung dieser Ventile ist zwangläufig von der Steuerwelle g (Nr. 7 Seite 62) aus. Da der Gasmotor im Viertakt arbeitet, so macht die Steuerwelle nur halb so viel Umdrehungen als die Kurbelwelle, sie wird deshalb durch Zahnräder von dieser angetrieben, die eine Übersetzung von 2 : 1 haben und unter dem Gehäuse e gelagert sind. Auf der Steuerwelle befinden sich 2 Nocken n (Fig. 27), von denen der erstere gegen eine Rolle an der Stange t drückt, die an einem Hebel u drehbar befestigt ist und um einen Arm u_1 schwingen kann. An dem Ventilgehäuse ist ein Winkelhebel v angebracht, der um den festen Punkt v_1 drehbar ist. Wenn nun die Wulst des Nockens n bei der Umdrehung der Steuerwelle in der Pfeilrichtung gegen die Rolle der Stange t trifft, so wird t angehoben, und da u durch v einen festen Stützpunkt erhalten hat, muß sich die Stange w des Gasgemischeinlaßventiles i und damit dieses selbst abwärts bewegen, also öffnen. Das Ventilgehäuse bildet zwei getrennte Räume, von denen der obere mit der Gaszuflußleitung r_1 (Nr. 3 Seite 62) durch den Hahn r in Verbindung gesetzt oder davon getrennt werden kann, und der untere mit der Luftleitung s_1 (Nr. 3 Seite 62) verbunden ist. In dieser Leitung befindet sich eine

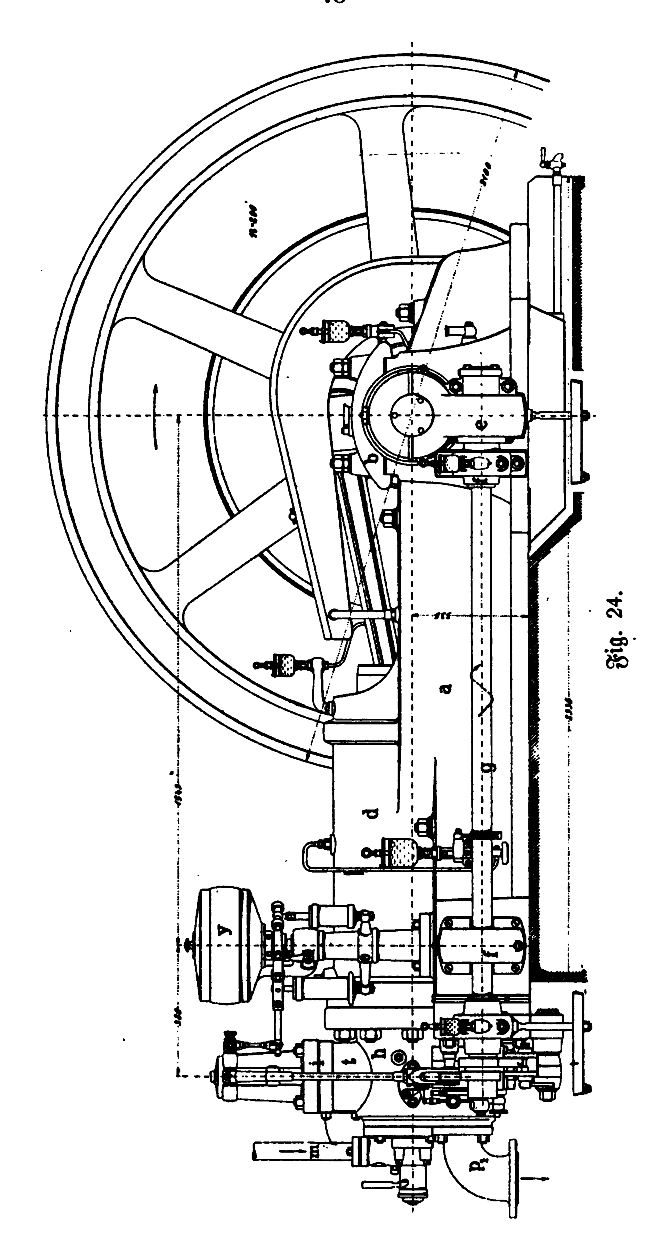


Fig. 24.

von Hand verstellbare Drosselklappe s. Wenn das Ventil durch die Steuerung herabgedrückt wird, so bewegen sich gleichzeitig abwärts der Teller x (Fig. 28) und der zylindrische Teil x_1, wodurch der Lufteintritt, und der mittlere Teil x_2, wodurch der Gaseintritt ermöglicht wird. Luft und Gas werden in der Pfeilrichtung durch den Kolben während der Saugperiode angesaugt. Da die Eintrittsquerschnitte für Gas und Luft im selben Verhältnis bleiben, hat das Gemisch dasselbe Zusammensetzungsverhältnis. Durch den Druck einer kräftigen, doppelten zylindrischen Feder wird das Ventil geschlossen und der Steuerhebel t mit seiner Rolle stets fest auf den Nocken gedrückt.

Wenn das Schwungrad des Motors eine zu große oder zu kleine Umdrehungszahl angenommen hat, so muß mehr oder weniger Gasluftgemisch zugeführt werden. Es ist deshalb ein Regulator y vorhanden (Nr. 8 Seite 62), der den Winkelhebel v durch Seitwärtsschieben so verstellt, daß der Hub des Ventils kleiner oder größer wird.

Der zweite Nocken n auf der Steuerwelle drückt ebenfalls gegen eine Rolle, die an dem einen Ende des zweiarmigen um q_1 drehbaren Hebels q sitzt, während an dem anderen eine Rolle sich befindet, die sich gegen die Spindel des Ausströmventils (Nr. 6 Seite 62) legt. Dieses Ventil wird ebenfalls durch Federdruck geschlossen gehalten, der zugleich den Hebel q fest gegen den Nocken n drückt. Durch die Wulst wird der eine Arm (rechte in der Fig. 27) herab- und der andere heraufgedrückt und dadurch das Ventil während der Ausströmperiode geöffnet.

Die Zündung des Gasluftgemisches im Zylinder am Ende der Kompressionsperiode (Nr. 5 Seite 62) geschieht durch einen elektrischen Funken, der durch einen kleinen magnet-elektrischen Apparat in folgender Weise erzeugt wird.

Zwischen 3 ∩förmig gebogenen Magnetstäben h (Fig. 29) ist eine horizontale Welle (Anker) gelagert, die aus einem Iförmigen Stück besteht, das mit Draht umwickelt ist. Von dem einen Schenkel des Magnetes gehen zum anderen Kraftlinien (vergl. Einleitung zu den elektrischen Kraftmaschinen). Wenn sie durch einen guten Leiter schnell durchschnitten werden, entsteht in dem Leiter ein elektrischer Strom, der durch Drähte in das Innere des Motors geleitet werden kann. Sobald nun dieser Strom an irgend einer Stelle, z. B. im Zylinderinnern, unterbrochen wird, so entsteht dort ein Funke, der das Gasgemisch entzünden kann. In Fig. 29 sind h die Magnete,

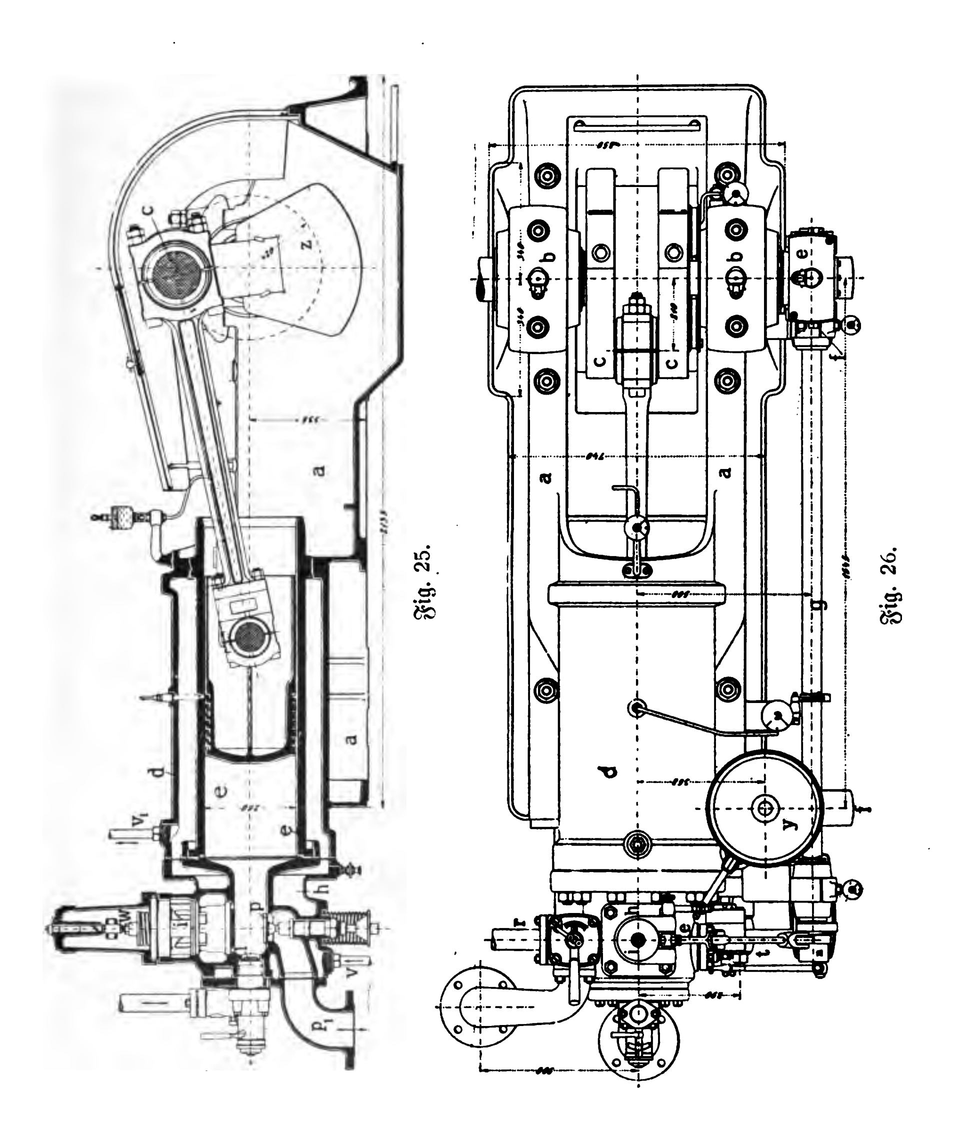


Fig. 25.

Fig. 26.

i bezeichnet einen kleinen Winkelhebel, an dem die Welle mit der Drahtspule befestigt ist und der durch die Nase k, die an einem hin und her und auf und ab schwingenden Hebel sitzt, zur Seite gedrückt wird. Sobald nun k abschnappt, wird i und damit die Drahtspule durch Federkraft schnell zurückgeschleudert, es entsteht im Stromkreis

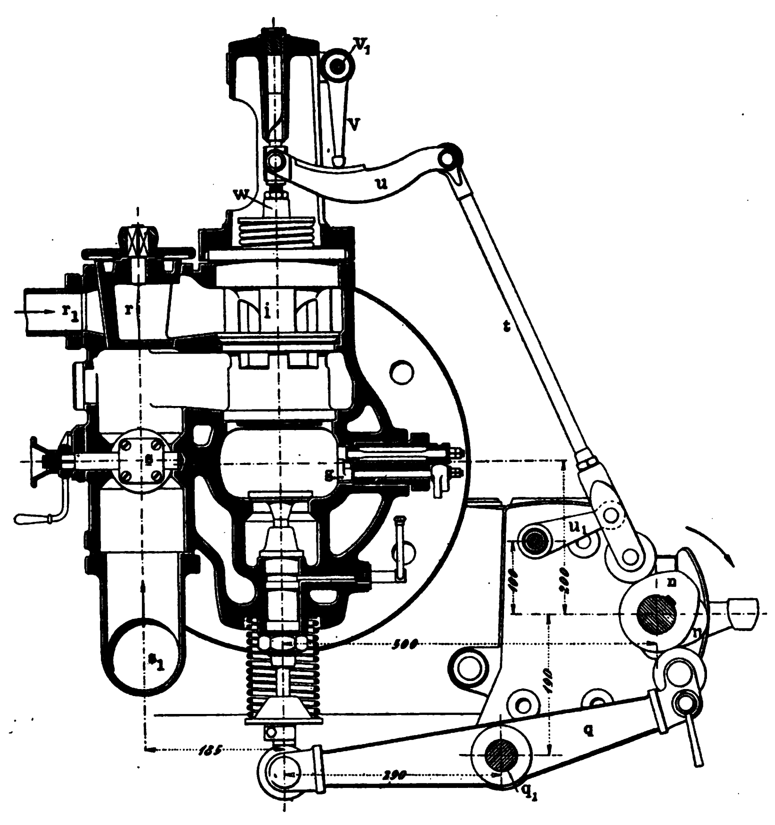


Fig. 27.

ein elektrischer Strom, der nun noch unterbrochen werden muß, um den Funken zu bilden. Zu diesem Zweck ist ein Stromunterbrecher vorhanden, Fig. 30. Der Strom tritt durch den Draht x ein, wird dem Zündstift x_3 zugeführt, der mit den Zubehörteilen x_2 und x_6 sorgfältig durch Glimmerscheiben x_4 von x_5 und damit von den sämt-

lichen Maschinenteilen isoliert ist. Der Doppelhebel WW¹ ist nicht isoliert, so daß, wenn in ihn der elektrische Strom eintritt, er seinen Weg durch das Maschinengestell zur Spule zurücknimmt. Der Hebel WW¹ wird durch eine Feder so festgehalten, daß W¹ stets an den Zündstift x_3 anliegt. In demselben Moment, in dem der Hebel i und der Anker zurückschnellt, also der Strom entsteht, wird durch die

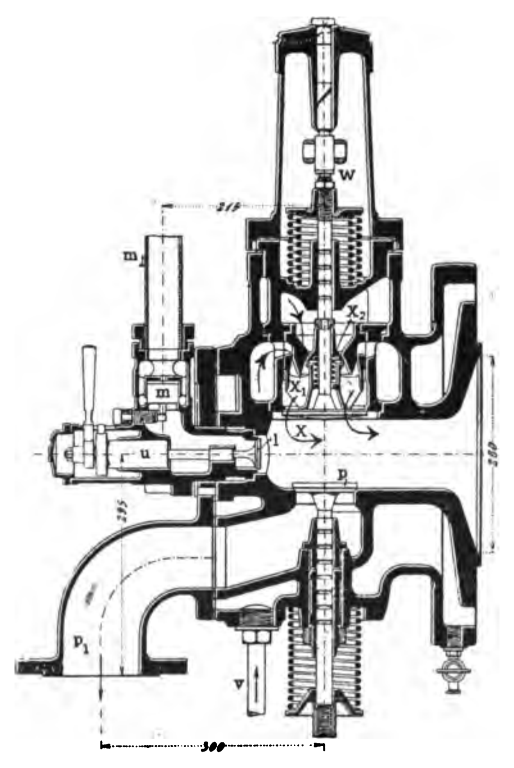


Fig. 28.

Stange i_1, die mit i und W verbunden ist, der Hebel W¹ von Zündstift weggerissen, der Funke gebildet und das Luftgasgemisch entzündet.

In dem Zylinder befindet sich ein langer, dichtschließender Kolben (Nr. 2 Seite 62) (Fig. 25) der durch die Explosion des Gasgemisches arbeitverrichtend vorwärts getrieben wird. Damit die Gase nicht neben dem Kolben austreten können, ist er an dem hinteren Ende mit

mehreren Einschnitten versehen, in denen sich selbstspannende Ringe aus einem besonderen Guß befinden. Die Federung dieser Ringe ist nicht größer als unbedingt nötig, damit ihr Druck auf das Innere der Zylinderwandung gering bleibt. In dem Kolbenkörper befindet sich

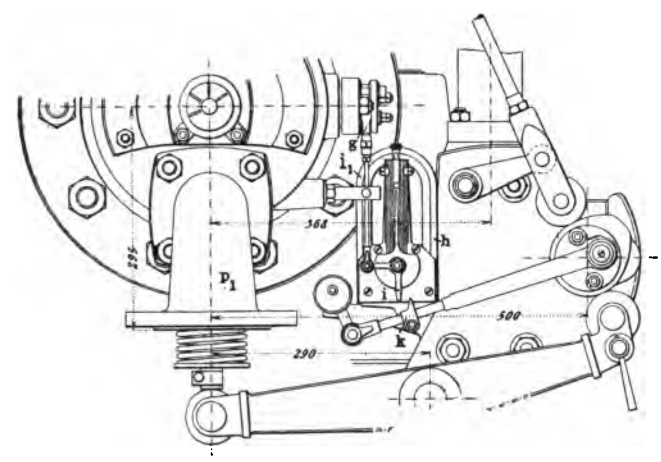


Fig. 29.

ein Bolzen, an dem die Schubstange angebracht ist, die zusammen mit der Kurbelwelle die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens in eine drehende verwandelt (Nr. 2 Seite 62). An der Kurbelwelle befinden sich die Gegengewichte z, die dazu dienen, die hin- und hergehenden Massen des Kolbens und der Schubstange auszugleichen, so daß dadurch ein stoßfreier und gleichmäßiger Gang hervorgerufen wird. Die Hauptlager des Gasmotors sind mit sorgfältig ausgeführten Ringschmierungen versehen, die ein Warmlaufen sicher verhüten.

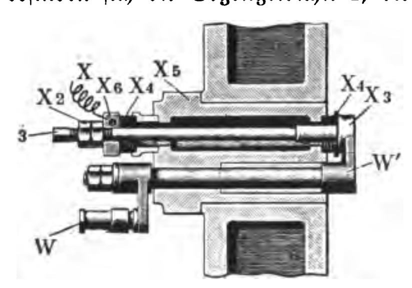


Fig. 30.

Der Kurbelzapfen wird von einem feststehenden Öler aus durch einen Ölring mit Hilfe der Centrifugalkraft geschmiert. Zylinder und Kolben erhalten das erforderliche Öl durch eine kleine Druckpumpe zugeführt, die von der Steuerwelle aus angetrieben wird und sich genau einstellen läßt.

Alle Schmierapparate können während des Betriebes ohne Gefahr für den Wärter aufgefüllt werden, weil alle gefahrbringenden Teile in zweckentsprechender Weise mit Schutzvorrichtungen versehen sind. Ebenso ist das Herumschleudern von Öl vermieden worden.

Bei der Aufstellung eines solchen Motors müssen selbstredend noch die auf Seite 67 erwähnten Apparate wie Gaszuleitung, Gasuhr, Gummibeutel, Auspufftopf usw. vorhanden sein.

Die Inbetriebsetzung der Motoren findet noch sehr häufig in der Weise statt, daß der Wärter den Gashahn öffnet, die Zündvorrichtung anstellt und dann mit beiden Händen das Schwungrad in schnelle Umdrehungen versetzt, bis die erste Explosion stattfindet oder, wie man

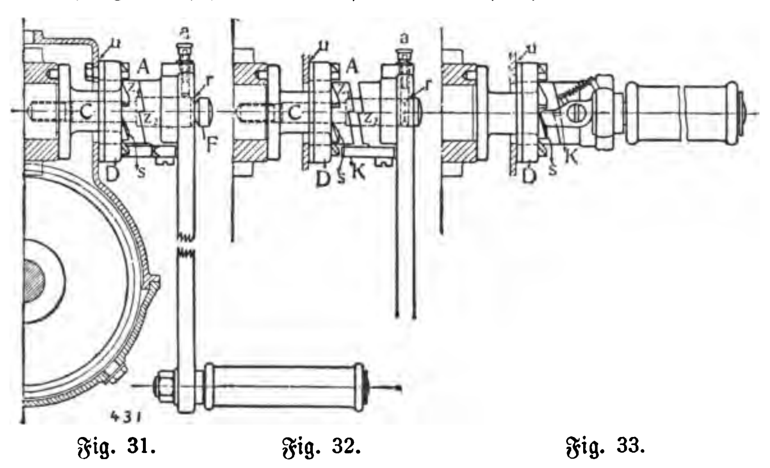


Fig. 31. Fig. 32. Fig. 33.

sagt, der Motor „anspringt“. Diese Art der Inbetriebnahme ist mit großen Gefahren verknüpft. Schon mancher Wärter, der beim Anspringen nicht schnell genug das Schwungrad losließ, hat seine Unvorsichtigkeit mit dem Leben gebüßt. Es wird deshalb von den Gewerbeaufsichtsbeamten mit Recht gefordert, daß mechanische Vorrichtungen zum Andrehen verwendet werden müssen. Diese bestehen bei kleinen Motoren bis zu etwa 12 PS aus einer Andrehkurbel und bei größeren aus einer Druckluftanlaßvorrichtung.

Die Andrehkurbeln sind Vorrichtungen, die an der Kurbelwelle befestigt werden und so eingerichtet sind, daß durch Drehen an einer Kurbel das Schwungrad so lange in Umdrehung versetzt werden kann, bis die Zündung erfolgt.

Die Gasmotorenfabrik Deutz baut Andrehkurbeln nach dem D. R. P. 136579, die sich in der Praxis recht gut bewährt haben, weil sie den beiden an sie zu stellenden Anforderungen vollauf ent-

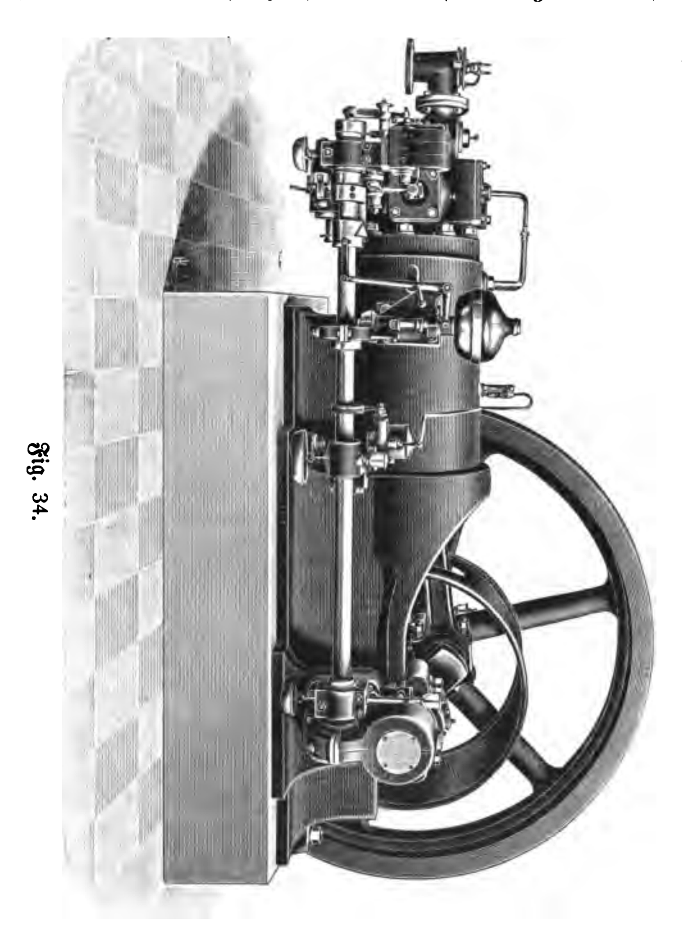


Fig. 34.

sprechen. Sie müssen nämlich nicht nur selbsttätig ausrücken, wenn der Motor anspringt, sondern auch wenn Frühzündungen auftreten. Im ersten Fall erhält die Kurbelwelle eine schnellere Umdrehung als die Andrehkurbel; damit diese nun nicht mitgenommen werden kann, ist an der Kurbelwelle eine Klauenkupplung A (Fig. 31) angebracht,

welche mit 2 Zähnen Z_1 und Z_2 versehen ist, die nach der einen Seite abgeschrägt sind, während sie an der anderen steil abfallen. An der Kurbel sind ebenso geformte Zähne, welche in die Lücken von Z_1 und Z_2 genau hineinpassen. Dreht der Arbeiter an der Kurbel in dem Sinne wie der Motor läuft, so muß die Kurbelwelle sich auch in demselben Sinne drehen, der Motor wird also Gas und Luft ansaugen, es komprimieren, zünden und damit zur Explosion bringen. Springt der Motor an und der Arbeiter hält die Andrehkurbel fest, so gleitet die Kurbel auf den schrägen Flächen der Zähne Z_1 und Z_2 ab und wird soweit zurückgedrängt (Fig. 32), daß der Führungsdorn a in die Einkerbung r geschoben wird. Nun kann die Kurbel bequem durch Zurückziehen des Führungsdornes a über den Kopf F abgezogen werden. —

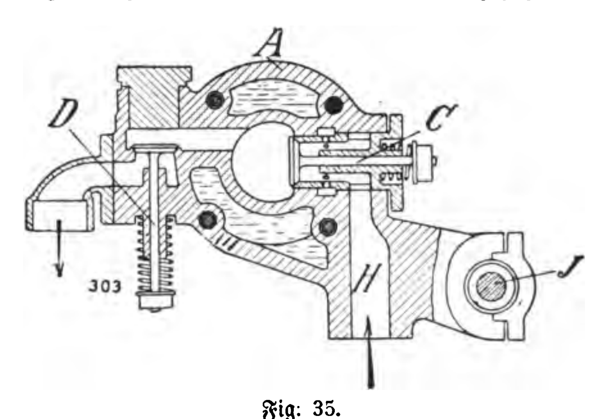


Fig: 35.

Da bei den Gasmotoren, wie schon auf Seite 65 erwähnt wurde, das Gasgemisch entzündet werden kann, bevor noch der Kolben bei der Kompression seine Endstellung erreicht hat (Frühzündung), so wird dadurch beim Andrehen dem Schwungrad plötzlich eine entgegengesetzte Umdrehrichtung gegeben, wodurch der Andrehende sehr gefährdet wird. Es ist deshalb zur Vermeidung dieser Gefahr an dem Motorgestell oder auf einem besonderen Vorgelegeböckchen ein Sperrkranz D (Fig. 31) mit mehreren schrägen Zähnen s durch Schrauben u angebracht. In diesen Sperrkranz greift eine an der Andrehkurbel befestigte Sperrklinke K (Fig. 33), die bei dem Andrehen infolge einer Federung leicht über die Zähne s gleitet, bei einem plötzlichen Rückstoß aber, wie er durch die Frühzündung hervorgerufen wird, sofort die Kurbel abschiebt

(vergl. die Fig. 32), so daß der Führungsdorn a in die Einkerbung r springt. Sobald der Motor zur Ruhe gekommen ist, wird die Andrehkurbel wieder aufgeschoben und von neuem angedreht, bis der Motor richtig anspringt.

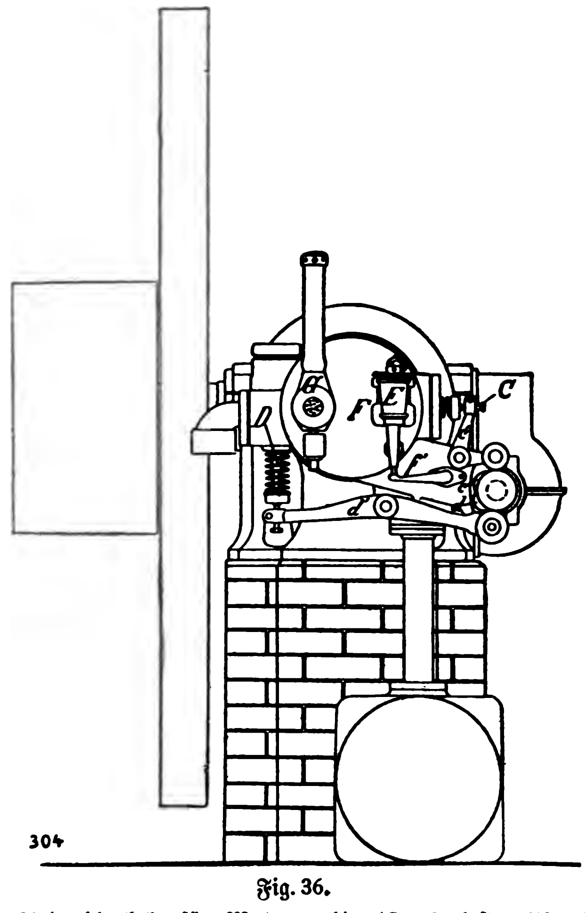


Fig. 36.

Die Andrehkurbeln für Motoren bis 12 PS kosten 50—80 ℳ je nach Größe des Motors. Wenn aber ein besonderer Vorgelegebock erforderlich ist, 80—110 ℳ.

Bei Motoren von etwa 12 PS an läßt sich die Andrehkurbel nicht mehr verwenden, weil der Andrehende nicht soviel Kraft äußern

kann, als zur Überwindung der Kompression erforderlich ist. In solchen Fällen bedient man sich der Druckluftanlaßvorrichtung. Sie besteht aus einem dichten eisernen Behälter, der mit dem Motor durch eine Rohrleitung verbunden ist, die bei m (Fig. 24 u. 28) mündet. Am Ende dieses Rohres aber in dem Zylinderkopf ist ein Rückschlag-ventil m, das von Hand geöffnet werden kann, angebracht. Ferner befindet sich darin ein Ladeventil l, dem durch einen Handhebel drei verschiedene Stellungen gegeben werden können. Es ist in der einen durch eine Feder fest auf seinen Sitz gepreßt, also geschlossen (Stellung während der Betriebszeit des Motors), in der andern geöffnet (Stellung beim Anlassen und Laden des Druckbehälters) und in der dritten ebenfalls geöffnet, aber so, daß das Innere des Zylinders mit der äußeren Atmosphäre verbunden ist (Verminderung der Kompression beim Anlassen). Gesetzt es sei in dem Luftbehälter genügend Luft von hinreichender Pressung vorhanden und der Motor soll angelassen werden, so wird zunächst die Rolle am Ausströmhebel so gestellt, daß sie über beide Nocken läuft und dann das Schwungrad soweit gedreht, daß die Schubstange einen Winkel von etwa 30° mit der Horizontalen nach oben bildet. (Fig. 25.) Darauf öffnet man das Rückschlagventil m und den Gashahn r. Wenn jetzt das Ladeventil in die Anlaßstellung gebracht wird, so tritt die Preßluft hinter den Kolben und erteilt ihm einen Stoß, so daß das Schwungrad sich mehrmals herumdrehen kann. Beim Rückgang des Kolbens wird das Rückschlagventil geschlossen und das Ladeventil in die Stellung gebracht, daß ein Teil der komprimierten Luft zur Verminderung der Kompression ins Freie treten kann. Darauf schließt man das Ladeventil. Jetzt saugt der Kolben Gas und Luft an, komprimiert es und wenn die Zündung erfolgt, tritt die Explosion ein. Bleibt sie aus, so muß man das Anlassen nochmals wiederholen.

Bei Motoren bis zu etwa 30 PS kann der Luftbehälter beim Stillsetzen des Motors während des Auslaufens gefüllt werden. Man schließt den Gashahn und öffnet das Ladeventil. Größere Motoren erhalten eine eigene Kompressionspumpe, die von dem Motor oder der Transmission angetrieben wird, oder einen besonderen Anlaßmotor.

Die Betriebskosten sind am Schluß dieses Abschnittes angegeben.

Der Gasmotor E_3 wird nur in Größen von 1—6 PS gebaut. Er ist in Fig. 34 dargestellt. Wie ein Vergleich mit Fig. 23 zeigt, sind bei ihm die Ventile anders angeordnet, indem, wie aus dem Querschnitt durch den Zylinderkopf (Fig. 35) hervorgeht, das Einlaß-

ventil C horizontal liegt. Durch H wird die Luft angesaugt, die mit dem Gas, das durch die feinen ringförmigen Öffnungen in dem Ventilgehäuse eintritt, innig gemischt dem Zylinder A zugeführt wird. Die

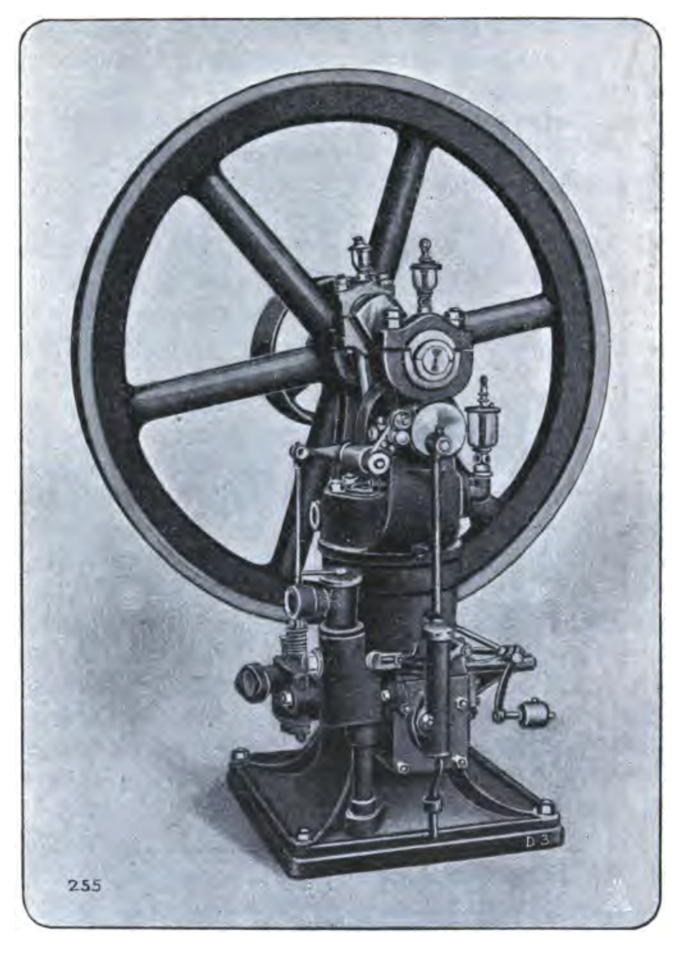


Fig. 37.

verbrannten Gase werden durch das seitlich angeordnete Ausströmungsventil D ausgestoßen. Die Ventile werden, wie aus Fig. 36 hervorgeht, wieder durch Nocken von der Steuerwelle betätigt und zwar das

Einlaßventil C durch den Nocken c und den Winkelhebel c_1 und das Ausströmventil D durch Nocken d und Winkelhebel d^1. Das Gas wird durch den Gashahn E und das Gasventil F zugeführt, es kann aber nur in das Einströmventilgehäuse eintreten, wenn das Gasventil F durch Hebel f^1 und Nocken von der Steuerwelle geöffnet wird.

Die Zündung des Gasgemisches geschieht elektrisch oder durch Glührohrzündung. Erstere Zündungsart ist schon Seite 76 erläutert, letztere auf Seite 63.

Die Umdrehungszahl des Schwungrades wird durch Auslassen von Explosionen geregelt, das heißt, wenn der Motor zu schnell läuft, wird von dem Regulator der Nocken für das Gasventil auf der Steuerwelle so fortgezogen, daß das Ventil nicht geöffnet wird, also nur Luft angesaugt und komprimiert werden kann. Sobald die Umdrehungszahl wieder normal geworden ist, schiebt der Regulator den Nocken in seine frühere Stellung zurück, das Gasventil wird wieder geöffnet.

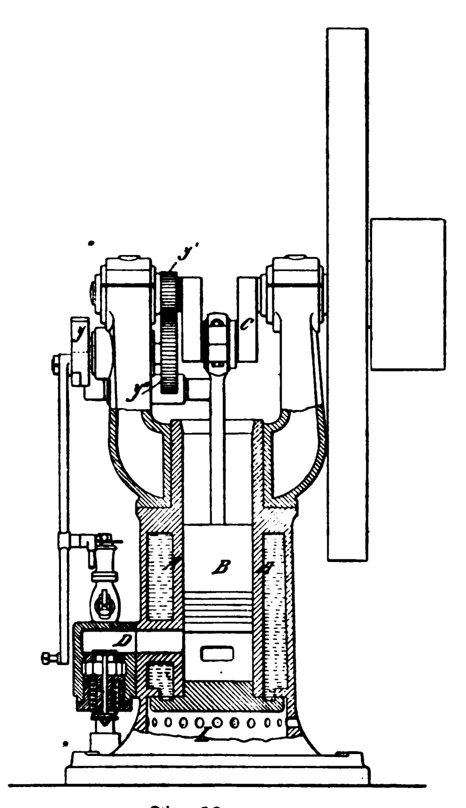


Fig. 38.

Das Anlassen geschieht in der Weise, daß zunächst die Heizflamme für das Glühröhrchen angezündet wird. Dann wird die Rolle am Ausströmhebel so verschoben, daß sie über dem Nocken d und dem auf der Steuerwelle befindlichen Anlaßnocken läuft, wodurch der Kompressionsdruck im Zylinder vermindert und das Andrehen erleichtert wird. Wenn nun der Gashahn etwas geöffnet ist, kann der Motor mit der

Andrehkurbel in Betrieb gesetzt werden. Ist er angesprungen, so wird die Andrehkurbel abgezogen, die Rolle des Ausströmhebels auf ihren Nocken gestellt, der Gashahn ganz geöffnet und das Kühlwasser angestellt. Bei der Außerbetriebsetzung sind nur die Gashähne zu schließen und das Kühlwasser abzustellen.

Die Betriebskosten sind am Schluß dieses Abschnittes angegeben.

Eine Gasmaschine System Otto stehender Bauart, bei welcher der Zylinder unten und die Schwungradwelle oben angeordnet ist, zeigt das Modell D_3. Diese Maschine wird nur in Größen von

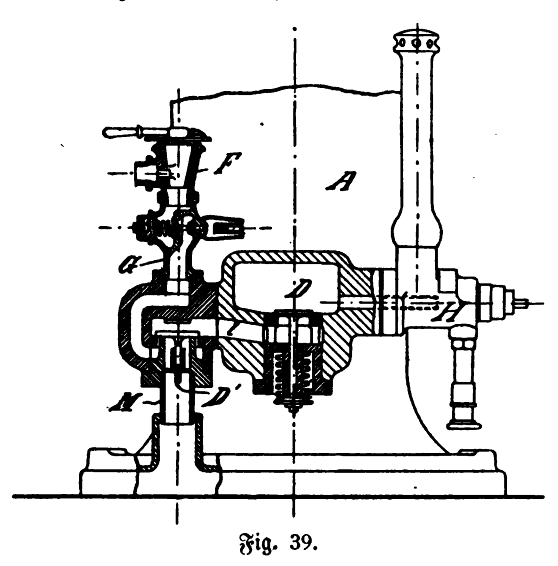


Fig. 39.

1 bis 5 PS gebaut, sie soll hauptsächlich da verwendet werden, wo die Raumverhältnisse beschränkt sind.

In Fig. 37 ist der Gasmotor in der Ansicht und in Fig. 38 senkrecht durchschnitten dargestellt; es bezeichnet AA in Fig. 38 den oben offenen Arbeitszylinder, der doppelwandig ist, und in dessen Hohlraum sich wieder die Wasserkühlung befindet. Der obere Teil des Arbeitszylinders ist von einem anderen Zylinder fest umschlossen, an dem sich die beiden kräftigen Arme zur Aufnahme der Lager für die Kurbelwelle C befinden. B ist der Kolben, an dem die Schubstange angreift. Die Leitung für das Leuchtgas führt zu dem abgebrochen dargestellten Rohr bei F (Fig. 39), in welchem sich ein

einstellbarer Gashahn mit Zeiger und Skala zur Regelung der Gaszufuhr für das Gasgemisch befindet. In dem Gehäuse G ist ein Gashahn (Gaseinlaßvorrichtung), der durch den Druck eines kleinen Regulators o (Fig. 40) geöffnet werden kann. Ist das geschehen, so saugt der Kolben Gas und durch das Rohr M atmosphärische Luft aus dem hohlen Sockel L an. Die Luft wird zentral im Ventil geführt und das Gas in einen Kanal (Fig. 39) geleitet, aus dem es durch ringförmig angeordnete Öffnungen unter den Ventilteller tritt. Hier trifft es mit der Luft zusammen, beide geraten in heftige Wirbelungen und mischen sich dadurch innig; dann treten sie als fertiges Gemisch durch den Kanal l und das selbsttätige Einströmungsventil D (Gasgemischeinlaßvorrichtung) in den Zylinder. Die verbrannten Gase treten durch das Ausblasventil (Auslaßvorrichtung) in den Auspufftopf. Das Ventil wird betätigt durch eine Stange an einem Winkelhebel, an dessen anderm Ende eine Rolle sich befindet

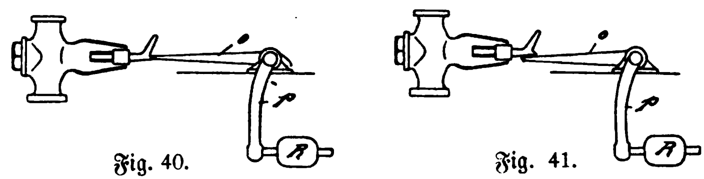


Fig. 40. Fig. 41.

(Fig. 37), die durch einen Nocken an der Steuerscheibe zurückgedrückt wird und dadurch das Ventil öffnet; durch Federdruck wird es wieder geschlossen. Die Steuerscheibe y darf, wie schon früher hervorgehoben wurde, nur halb so viel Umdrehungen machen als das Schwungrad, sie sitzt deshalb an einer besonderen kurzen Welle, die ihren Antrieb durch ein Zahnrad y'' erhält, das die doppelte Anzahl Zähne hat, wie das auf der Kurbelwelle befestigte Zahnrad y'.

Die Zündvorrichtung besteht aus einem Porzellanrohr, das sich in dem Brennergehäuse H befindet und durch einen Bunsenbrenner geheizt wird. Die Luftzuführung zur Heizflamme ist regulierbar. Die verbrannten Gase treten durch das Lampenrohr ins Freie.

Die Regulierung der Umdrehungszahl geschieht durch den Ausfall von Arbeitsperioden, d. h. bei zu hoher Umdrehungszahl tritt kein Leuchtgas in den Zylinder, und somit fällt eine Explosion aus, weil dann ein kleiner Pendelregulator das Gasventil nicht aufstößt. Dieser besteht aus einer Stange (Fig. 37), die an der Steuerscheibe y und am Einströmungsventilgehäuse an einem Hebel befestigt ist. Sobald die

Steuerscheibe in Umdrehung versetzt wird, erhält die Stange eine pendelnde Bewegung, dadurch wird ein anderer Hebel, der diese Stange mit dem Schlitten O verbindet, ebenfalls in eine hin- und hergehende und auf- und abwärts gerichtete Bewegung versetzt. Der Schlitten kann aber nur die hin- und hergehende Bewegung mitmachen, dasselbe gilt von dem am Schlitten befestigten Pendelgewichte R. Dieses wird bei einer Bewegung des Schlittens nach rechts diese Bewegung mitmachen und bei der plötzlich eintretenden umgekehrten Bewegung des Schlittens offenbar das Bestreben haben, noch etwas weiter zu gehen und wird dabei um so weiter ausschlagen, je größer die Geschwindigkeit des Schlittens und damit auch die Umdrehungszahl des Schwungrades ist. Bei normaler Umdrehungszahl schlägt das Gewicht R nur soweit aus, daß es noch schnell genug zurückkehrt, um den Stichel o so hoch zu heben, daß er den Gashahn aufstößt (Fig. 40). Ist hingegen die Umdrehungszahl größer, so kann das Gewicht nicht schnell genug zurückkommen, um den Stichel o zu heben und das Gasventil zu öffnen (Fig. 41), es fällt also eine Arbeitsperiode aus. Die Regulierung ist eine vorzügliche, zumal der Regulator sehr genau eingestellt werden kann.

Anlage- und Betriebskosten für ortsfeste Leuchtgasmotoren

der Gasmotorenfabrik Deutz, Cöln-Deutz.

	Modell E			Modell 1				Modell D		
Zulässige Dauerleistung PS eff. . . .	2	4	6	8	12	20	30	1	3	5
Umdrehungszahl in der Minute	250	240	240	240	220	210	200	250	250	240
I. Anlagekosten.										
1. Preis des Motors ℳ	1350	2000	2650	3200	3800	5000	6600	1000	1600	2200
2. Nebenkosten 35% „	475	700	925	1120	1330	1750	2300	350	560	770
Gesamtanlagekosten ℳ	1825	2700	3575	4320	5130	6750	8900	1350	2160	2970
Leuchtgasverbrauch für die effektive Pferdekraftstunde in l . .	600*	580*	550*	530*	510	490	470*	640*	590*	570*

Zu 2. Nebenkosten. Dazu gehören: Anlaßvorrichtung, Fundament, Rohrleitung, Gasdruckregler, Kühlwasserversorgung und Aufstellung (ausschließlich Reisekosten für Monteur und Fracht). Es ist streng genommen nicht richtig, sie als prozentualen Zuschlag zu dem Preis des Motors zu rechnen, weil z. B. die Andrehkurbeln für Motoren bis 12 PS verwendet werden,

II. Betriebskosten für 3000 Betriebsstunden, normale Leistung.

3. Amortisation. Verzinsung, Instandhaltung $12^1/_2$% ℳ	228	338	447	540	642	844	1113	169	270	372
4. Bedienung . . „	150	150	150	180	180	200	250	120	120	130
5. Schmieröl, Putzwolle usw. . . . . ℳ	40	55	75	100	120	160	220	30	45	60
6. Gas 1 cbm = 10 ₰ „	360	696	990	1272	1836	2940	4230	192	531	855
Jährl. Betriebskosten ℳ	778	1239	1662	2092	2778	4144	5813	511	966	1417
Kosten für 1 PS eff. in in 1 Std. . . . ₰	13,0	10,3	9,2	8,7	7,7	6,9	6,5	1,70	10,7	9,4

III. Betriebskosten für 1000 Betriebsstunden, normale Leistung.

3. Amortisation 2c. ℳ	228	338	447	540	642	844	1113	169	270	372
4. Bedienung 50% „	75	75	75	90	90	100	125	60	60	65
5. Schmieröl 2c. 40% „	16	22	30	40	48	64	88	12	18	24
6. Gas 1 cbm = 10 ₰ „	120	232	330	424	612	980	1410	64	177	285
Jährl. Betriebskosten ℳ	439	667	882	1094	1392	1988	2736	305	525	746
Kosten für 1 PS eff. in 1 Std. . . . . ₰	22,0	16,7	14,7	13,7	11,6	9,9	9,1	30,5	17,5	14,9

während für größere die viel teurere Luftdruckanlaßvorrichtung benutzt werden muß. Dafür hängen aber andererseits wieder die Kosten für das Fundament, die Rohrleitung, die Kühlwasserversorgung und die Aufstellung sehr von den örtlichen Verhältnissen ab. Da die Gasmotoren fast immer in vorhandenen Gebäuden aufgestellt werden, sind Kosten hierfür nicht angesetzt.

* Die mit einem Stern versehenen Werte sind nach Versuchen eingesetzt, die ohne Stern die Garantiezahlen der Firma. Die erreichbaren Verbrauchswerte liegen im allgemeinen niedriger.

Zu 3. Die Amortisation ist mit 7% angenommen, entsprechend einer Gebrauchsdauer des Motors von etwa 15 Jahren. Für die Verzinsung müssen $4^1/_2$% gerechnet werden und für Instandhaltung 1%.

Zu 4. Hier ist angenommen, wie das wohl meistens der Fall ist, daß ein Arbeiter den Motor in Gang bringt und still setzt und ihn täglich nach Feierabend putzt. Er soll täglich $^1/_2$ Überstunde machen und jeden zweiten Sonntag ihn mit einem anderen Arbeiter gründlich reinigen. Es würden dadurch monatlich etwa ℳ 12,50 oder jährlich ℳ 150 Kosten entstehen. Bei größeren Motoren ist mehr zu tun und dementsprechend der Betrag höher genommen.

Eine andere Firma, die auf dem Gebiete des Motorenbaues ebenfalls Hervorragendes leistet, ist

2. Benz & Cie., Rheinische Gasmotorenfabrik. A. G. Mannheim.

Nachdem unter 1 die Beschreibung der Motoren ausführlich stattgefunden hat, kann sie im folgenden ganz erheblich gekürzt werden, da die einzelnen besonderen Ausdrücke schon alle erklärt wurden. Benz & Cie. liefert nur Motoren liegender Bauart und zwar in 2 verschiedenen Ausführungen, die erste „Klasse C" in Größen von 3,5; 5; 6,5 und 9 PS. Die zweite „Klasse FL" in Größen von 8, 10, 12, 15, 20 und mehr PS. Hier ist in Fig. 42 ein Motor der Klasse C in der Ansicht und in Fig. 43 der „Klasse FL" im Längenschnitt dargestellt. Man erkennt auf den ersten Blick, daß die allgemeine Anordnung dieselbe ist, wie sie in Fig. 24 dargestellt und auf Seite 74 beschrieben wurde. Der Zylinder ist aus einem Gußstück hergestellt und in den äußeren Kühlmantel eingesetzt, der zugleich als Rahmen und Fundament ausgebildet ist, wodurch das lästige Nicken der Maschine vermieden wird. Die Kurbelwelle ist in dem Rahmen sicher gelagert und mit Gegengewichten versehen, die die hin- und hergehenden Massen ausgleichen, sodaß das Fundament nur in geringem Maße beansprucht wird. In dem Zylinderkopf sind das Einström- und Auslaßventil übereinander angeordnet. Ihr Antrieb erfolgt ebenfalls durch Nocken an der Steuerwelle, die an dem Fundament befestigt ist. Die Zündung des Gasgemisches findet durch eine elektro-magnetische Vorrichtung statt, wie sie schon Seite 76 beschrieben wurde. Die Anzahl der Umdrehungen des Schwungrades kann durch eine Hebelstellung von Hand geändert werden, so daß damit die Leistung des Motors innerhalb weiter Grenzen veränderlich ist.

Zu 5. Der Betrag hierfür ist in einigen Fällen in der Praxis ermittelt und, wo diese Angaben fehlten, schätzungsweise eingesetzt. Er kann da, wo nicht sparsam mit den Gegenständen umgegangen wird, erheblich höher werden.

Zu 6. Der Preis für das Gas ist örtlich recht verschieden. Im Durchschnitt dürfte er jetzt etwa 10 Pf. für 1 cbm betragen. Einzelne Orte geben von einem bestimmten Verbrauch an Rabatt. Hier ist darauf nicht Rücksicht genommen. Eine Erkundigung bei der Gasanstalt genügt meistens, um diese Angaben den örtlichen Verhältnissen anzupassen.



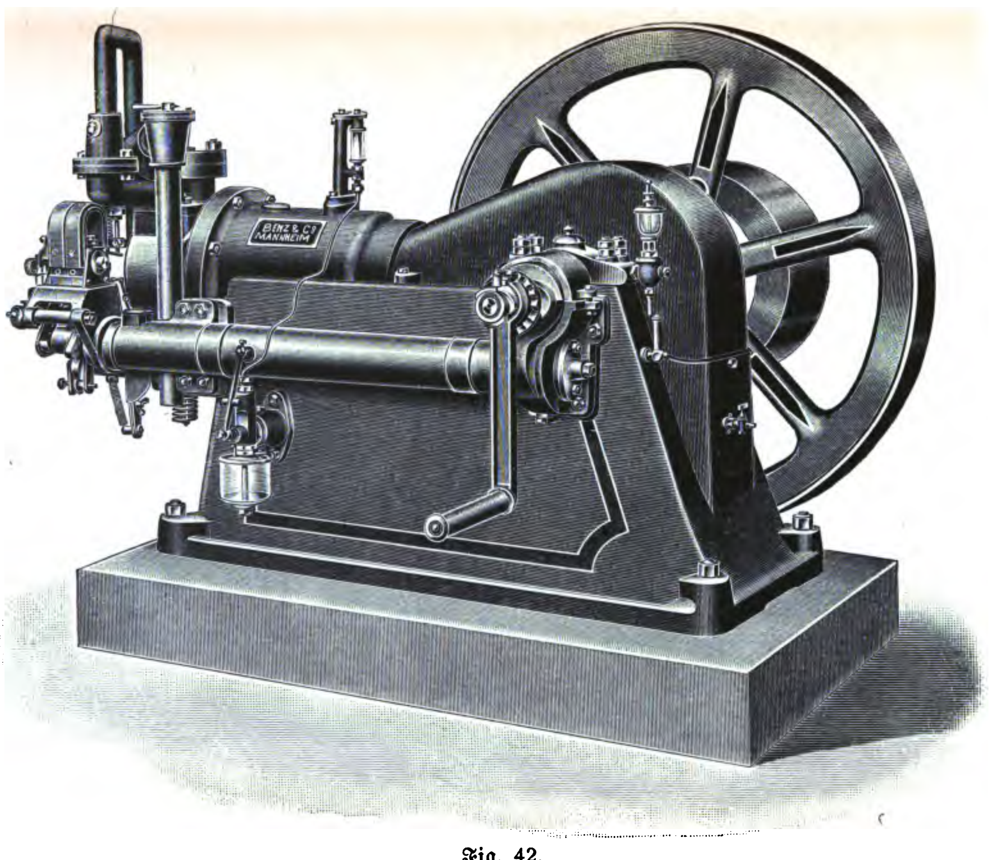


Fig. 42.

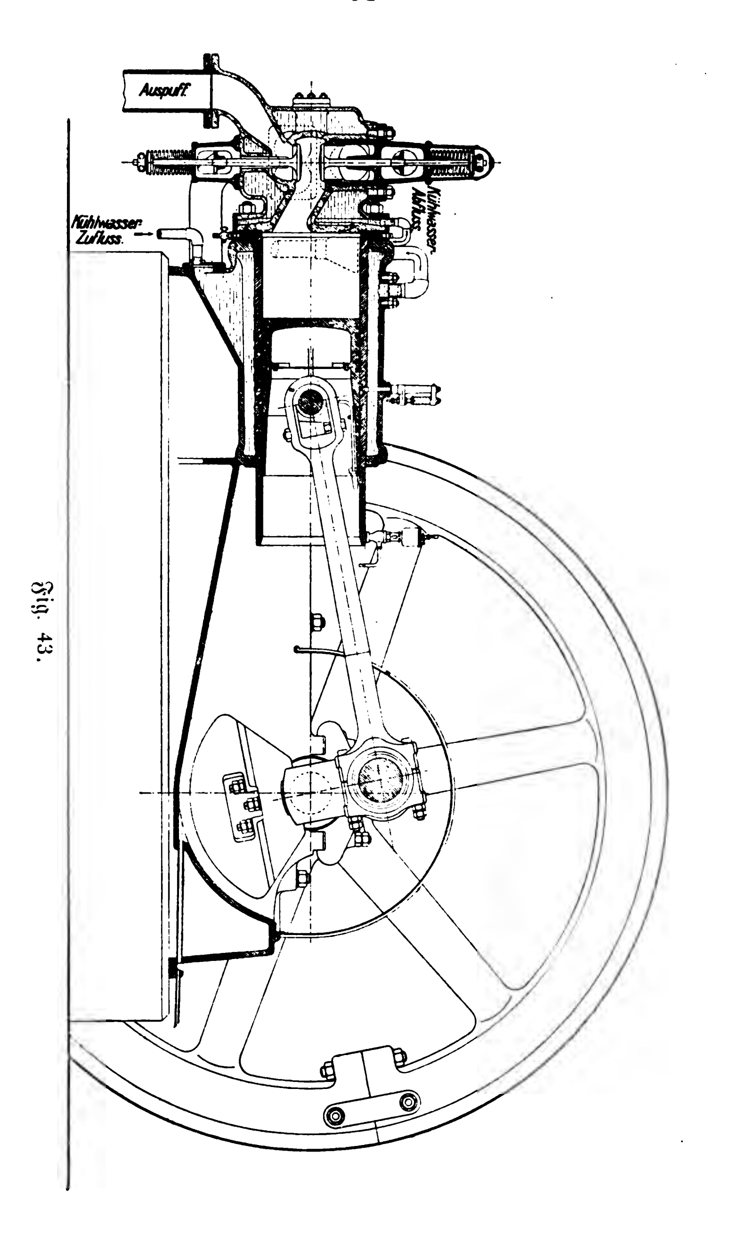


Fig. 43.

Die Kurbelwelle läuft in Ringschmierlagern, die Kurbel wird durch Zentrifugalschmierung in Öl gehalten, Kolben und Kolbenzapfen werden durch eine kleine mechanisch angetriebene Ölpumpe, deren Hub genau einstellbar ist, mit dem nötigen Öl versehen.

Die Motoren der Klasse FL sind ganz ähnlich gebaut. Das Rahmengestell ist länger und erfordert ein gemauertes Fundament. Die Regulierung erfolgt durch Drosselung des Gasluftgemisches durch einen Regulator, die Zündung auf magnet-elektrischem Wege.

Die Preise, Leistung und Umdrehungszahlen zeigt folgende Tabelle.

1. Klasse C.

Dauerleistung PS eff.	3,5					5					6,5					9				
Nominelle Leistung	1,5	2	2,5	3	3,5	2,5	3	3,5	4	5	3	4	5	6	6,5	5	6	7	8	9
Umdrehungszahlen	220	250	300	360	420	250	275	320	380	450	200	270	340	400	440	220	260	300	350	400
Preis des Motors ℳ	1500					1650					1900					2100				

2. Klasse FL.

Normalleistung PS eff. . .	8	10	12	15	20	25	30
Dauerleistung „ „	$9^1/_2$	12	$14^1/_2$	$17^1/_2$	$23^1/_2$	$29^1/_2$	$35^1/_2$
Umdrehungen	230	230	220	220	210	210	210
Preis des Motors ℳ	3650	3750	4700	5150	6350	6450	7550

Der Gasverbrauch beträgt für die Pferdekraftstunde 0,65—0,40 cbm des gewöhnlichen Leuchtgases. Hiernach lassen sich die Betriebskosten berechnen, sie weichen nicht erheblich von denen auf Seite 90 angegebenen ab.

Ebenfalls Hervorragendes auf dem Gebiete des Motorenbaues leistet

3. Gebr. Körting Aktiengesellschaft, Körtingsdorf bei Hannover.

In Fig. 44 ist die Ansicht eines Gasmotors wiedergegeben. Die Anordnung ist die übliche, die Motoren arbeiten im Viertakt, verwenden stets dasselbe günstigste Mischungsverhältnis zwischen Gas und Luft und regulieren die Umdrehungszahl des Schwungrades durch einen Regulator, der eine Drosselklappe entsprechend verstellt. In Fig. 45 ist der Lufteintritt durch Rohr 17 und 13, das Mischventil ist mit 14 und 15 bezeichnet und die Drosselklappe mit 34; die Verstellung geschieht durch den Regulator 30 und 31 mittels Hebel 32 und 33.

Das Einströmventil 6 wird durch Hebel 29 und 27, der durch Nocken 26 an der Steuerwelle bewegt wird, betätigt. Unter ihm befindet sich das Ausströmventil 11 angeordnet, das durch Hebel 25

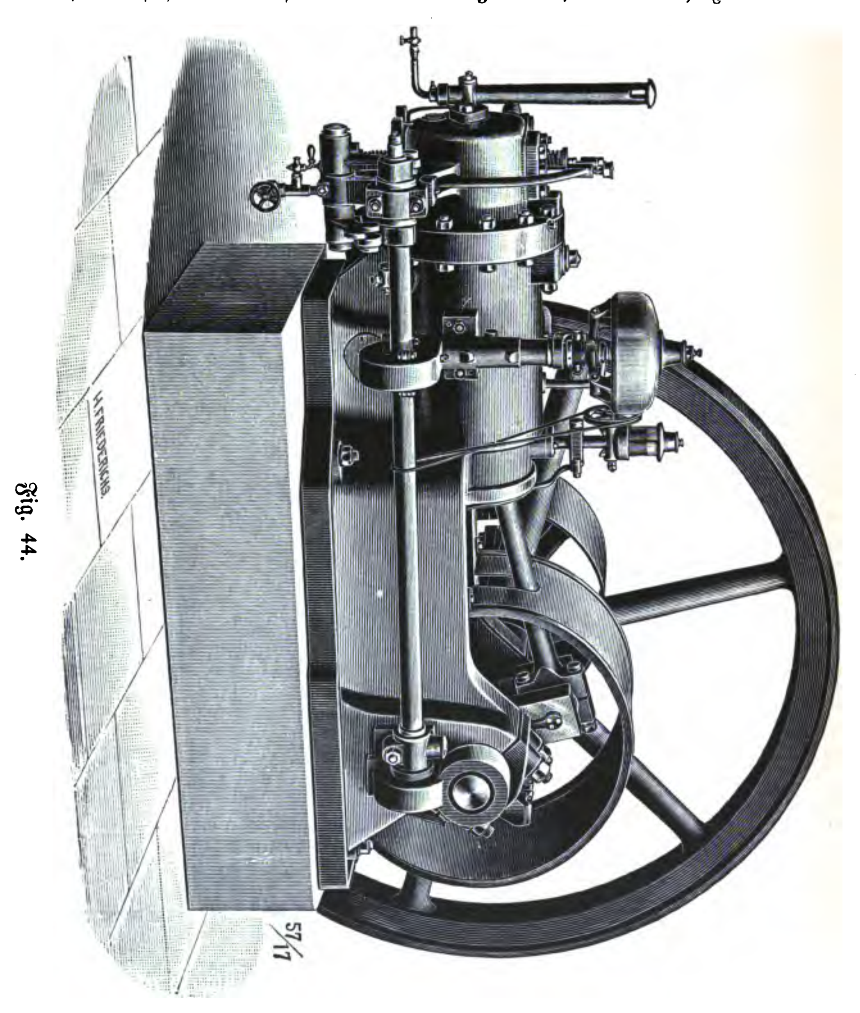


Fig. 44.

geöffnet und durch Federdruck geschlossen wird. Wenn der Motor mehr Arbeit leisten soll, so öffnet der Regulator die Drosselklappe weiter, damit mehr Gasluftgemisch in den Zylinder eintreten und darin ver-

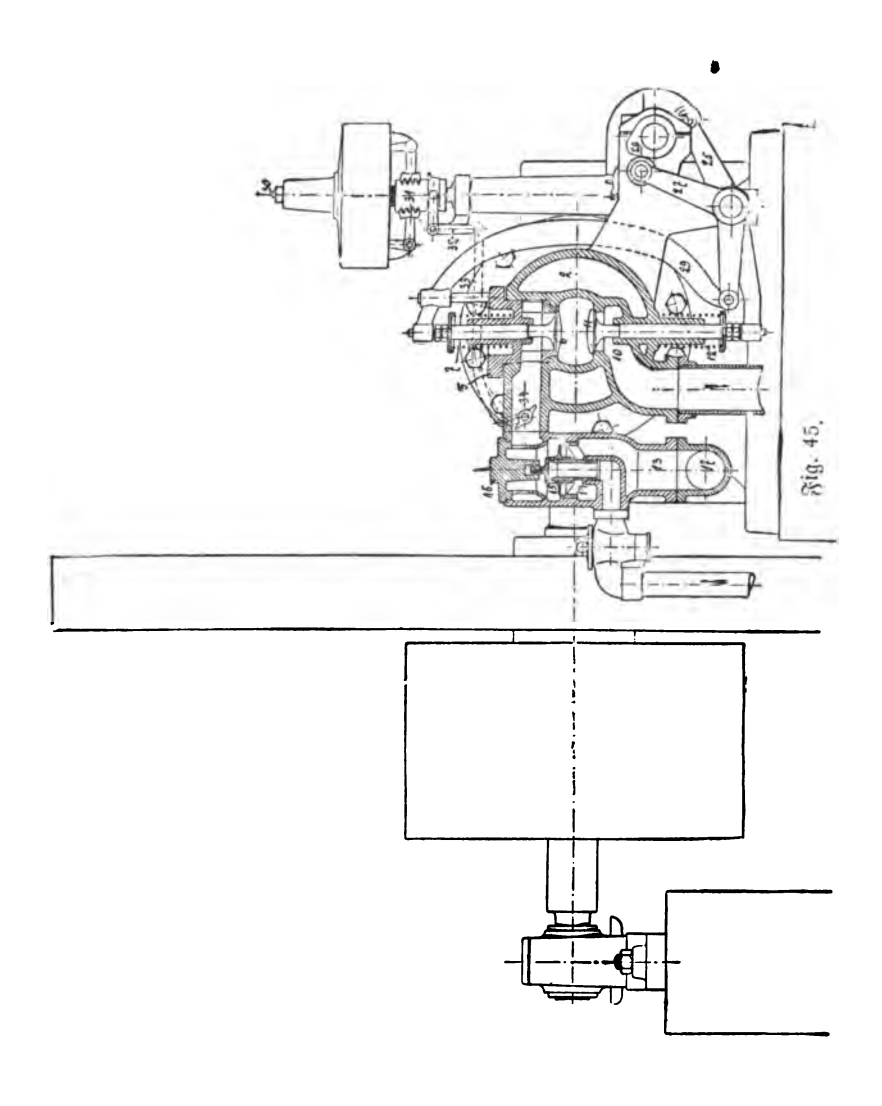


Fig. 45.

brannt werden kann. Diese Motoren regulieren vorzüglich und arbeiten deshalb mit einem hohen Gleichmäßigkeitsgrad.

Der äußere Kühlwassermantel, die Kurbellager und der Rahmen sind aus einem Stück und breit und kräftig gebaut. Der Verbrennungszylinder ist so in den Kühlmantelzylinder eingesetzt, daß er sich den Temperaturverhältnissen entsprechend ungehindert ausdehnen kann. Die Kurbelwelle ist gekröpft und bei Motoren von 8 und mehr Pferdestärken mit einem 3. Lager, einem Außenlager, versehen. Zwischen diesem und dem Rahmen befinden sich das Schwungrad und die Riemenscheibe, so daß dadurch die Rahmenlager weniger beansprucht werden. Die Zündung wird bei den kleineren Maschinen gewöhnlich durch ein Glühröhrchen, bei größeren durch einen Magnetinduktor hervorgerufen; kann aber bei allen Motoren auf Wunsch auf die zuletzt genannte Weise erfolgen.

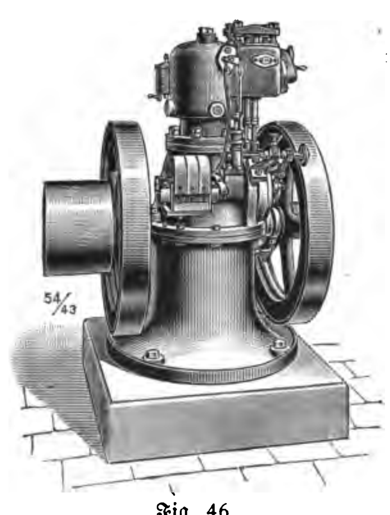


Fig. 46.

Größe und Preise gehen aus der folgenden Zusammenstellung hervor:

Pferdestärken PS eff.	2	4	6	8	10	12	14	16
Umdrehungszahl .	260	240	240	220	220	200	200	200
Preis . . . ℳ	1575	2115	2270	2880	3090	3650	4495	4880

Falls die Motoren von 2—12 PS statt der Glührohrzündung magnet-elektrische erhalten sollen, erhöht sich der angegebene Preis um 220 ℳ. Bei dem 8 und 10pferdigen Motor kostet der Außenlagerbock 46 ℳ und bei den größeren 76 ℳ.

Der Gasverbrauch beträgt von 0,6 bis 0,4 cbm für die Pferdekraftstunde. Hiernach können die Betriebskosten im einzelnen ermittelt werden, sie weichen nur unwesentlich von den auf Seite 90 angegebenen ab.

Außerdem baut die Firma kleine stehende, schnellaufende Motoren, von denen Fig. 46 ein Bild gibt. Auf einem zylindrischen Fuß ist der Motor angeordnet. Er arbeitet im Viertakt, hat magnet-elektrische

Zündung, zwangläufig gesteuerte Ein- und Auslaßventile und einen sehr empfindlichen Regulator. Die Regelung erfolgt in diesem Falle durch Aussetzen von Explosionen, indem der Regulator das Gas-

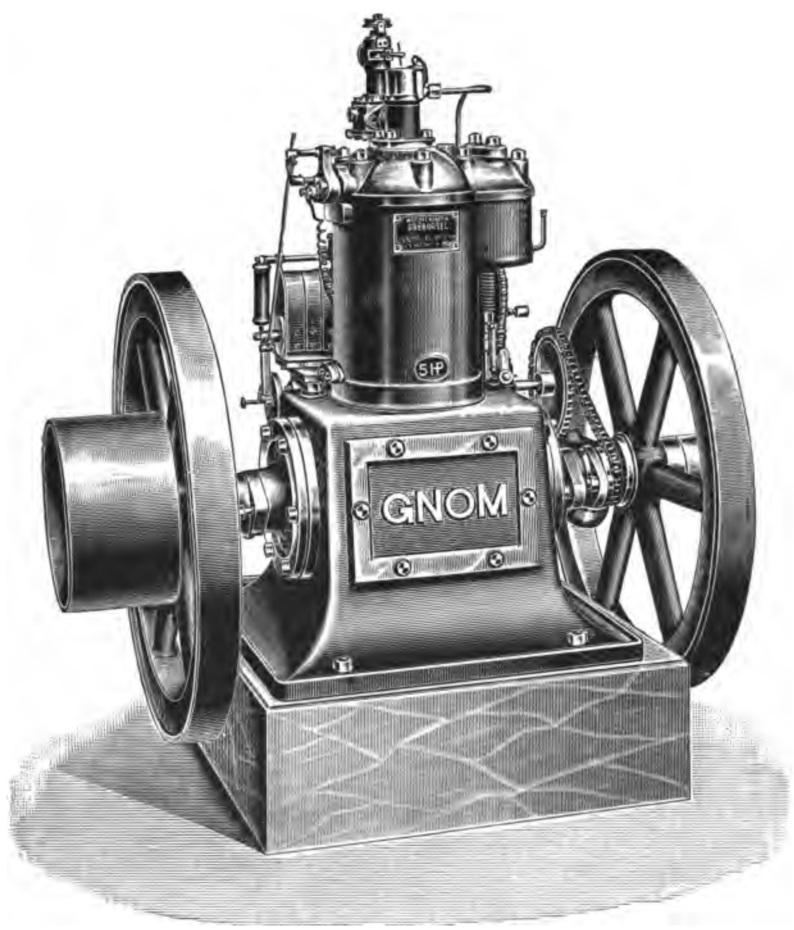


Fig. 47.

ansaugeventil bei zu großer Umdrehungszahl des Schwungrades nicht öffnet, und somit Gas nicht in den Zylinder eintreten kann. Der Zylinder bildet mit dem Kühlraum, dem Zylinderboden und dem Ventilgehäuse nur ein Stück, so daß Undichtigkeiten kaum auftreten

7*

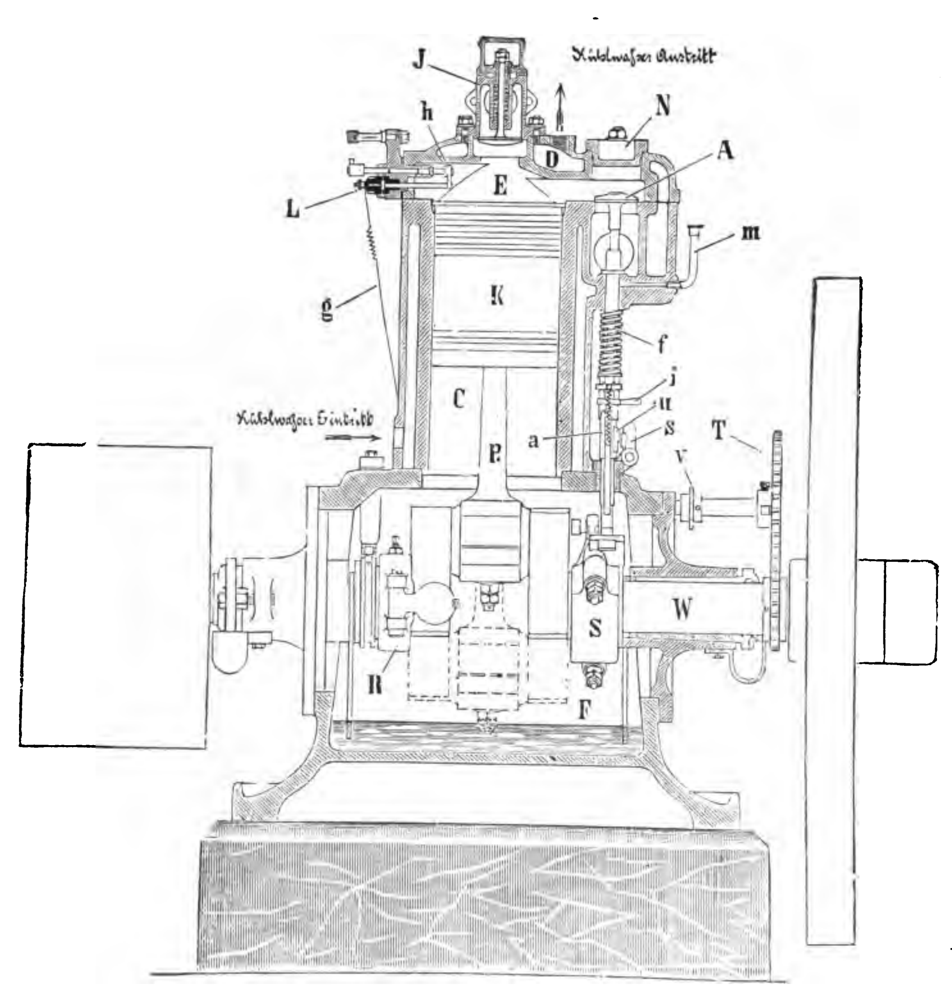

J
Kühlwasser Austritt
h
N
D
A
E
L
m
K
g
f
j
C
u
Kühlwasser Eintritt
a
s
T
P.
V
W
S
R
F

Fig. 48.

können. Die hin- und hergehenden Massen sind durch Gegengewichte ausgeglichen.

Die Betriebskosten lassen sich leicht berechnen, da der Gasverbrauch von dem der übrigen Motoren Seite 90 nicht wesentlich abweicht.

Der Motor braucht außerordentlich wenig Raum für die Aufstellung.

Größe und Preise dieser Motoren sind in der folgenden Zusammenstellung enthalten:

Leistung des Motors PS eff.	0,75	1,5	2,5	3,5	4,5	6	9
Umdrehungszahl in 1 Minute	750	750	700	650	600	525	450
Preis des Motors mit elektr. Zündung *M*	925	1135	1340	1540	1750	2120	2725
Preis des Motors mit Glührohrzündung „	735	920	1135	1330	1540	—	—
Erforderliche Grundfläche cm	55/80	60/85	65/90	70/95	75/100	90/110	100/120
Fundamentanker, Kühlgefäße Rohrleitung, Gasbeutel ꝛc. *M*	173	177	217	244	280	337	378

Als Spezialmaschinen baut die Firma noch Gasmotoren von 1/2 PS zu 400 *M* und von 1 PS zu 590 *M*.

Von den bisher erwähnten Konstruktionen abweichend ist der Gasmotor „Gnom", welcher von der

4. Motorenfabrik Oberursel A.-G.
Oberursel bei Frankfurt a. M. und Berlin NW.

gebaut wird. Bei ihm liegt die Kurbelwelle unter dem Zylinder, der oben mit einem Ventilkopf versehen ist. Die sämtlichen bewegten Teile sind verdeckt angeordnet, so daß sie möglichst vor Beschädigungen von außen geschützt sind und durch sie Unfälle nicht herbeigeführt werden können; dafür sind sie aber beim Auftreten von Störungen schwer zugängig. In Fig. 47 ist ein solcher Gasmotor in der Ansicht und in Fig. 48 im Schnitt dargestellt. Gas und Luft treten gemischt durch das selbsttätige Einlaßventil J in den Explosionsraum E ein, wenn sie durch den Kolben K, der sich in dem Zylinder C bewegt, und durch die Pleuelstange P, die mit der Kurbelwelle W verbunden ist, angesaugt werden. Nach der Kompression wird die Zündung durch ein Glührohr oder einen elektrischen Funken bei L bewirkt. Die verbrannten Gase treten durch das Ventil A, das durch die Feder f geschlossen und durch das Excenter S mit daran befindlicher Stange a geöffnet wird, ins Freie. Das Kühlwasser tritt unten in den Mantel des Zylinders ein und oben am Ventilkopf bei D wieder aus. Der Gasmotor ist mit einer Vorrichtung zum leichteren Anlassen derart versehen, daß,

wenn man den Hebel i nach hinten dreht, die Kompression nicht in voller Höhe zu stande kommen kann, indem das Auslaßventil während eines Teiles dieser Periode geöffnet gehalten wird. Das Auslaßventil wird von einer sehr sinnreich konstruierten Vorrichtung bewegt, die aus dem Excenter S besteht, das mit sechs Schneckengängen auf dem Umfang versehen ist, die ein kleines Schneckenrad (in der Figur hinter S liegend und daher nicht sichtbar) von doppelter Zähnezahl in die Hälfte der Umdrehungen der Kurbelwelle versetzen. Dieses hat eine senkrecht stehende Achse und ist mit dem Gestell verbunden, so daß ein kleiner Nocken auf dieser Welle einen horizontal über dem Excenter gelagerten Schieber derart bewegt, daß das Auslaßventil durch ihn bei jeder zweiten Umdrehung der Kurbelwelle einmal angehoben wird. Die Regelung der Umdrehungszahl besorgt ein kleiner Schwungkugelregulator R auf der anderen Seite des Kurbelzapfens. Die Schwungkugeln sind durch einen zweiarmigen Hebel an einem Ringe auf der Welle fest verbunden und verschieben bei ihrer Entfernung oder Annäherung durch einen kurzen Hebelarm einen losen Ring mit einem Schlitz, durch den mittels Stangenübertragung bei zu großer Umdrehungszahl das Anlaßventil am vollständigen Schließen verhindert wird, so daß der Motor die Verbrennungsgase wieder ansaugt; dadurch wird eine Explosion und erneute Arbeitszufuhr vermieden.

Diese überaus kräftig gebauten Motore bieten eine hohe Kraftreserve, indem sie bis 50% mehr zu leisten vermögen als die angegebene Normalleistung.

Die Preise und Größen gehen aus folgender Tabelle hervor.

Anzahl der Pferdestärken	2	3	4	5	6	8	10	12	15	20
Leistung bis Pferdestärke	3	4	5	$6^1/_4$	$7^1/_2$	10	12	15	18	24
Umdrehungszahl . . .	360	350	300	300	290	280	270	260	250	250
Preis des Motors in *M*	1400	1750	2050	2275	2575	3150	3550	4100	4650	5850

Die Betriebskosten lassen sich in bekannter Weise bestimmen, wenn man berücksichtigt, daß die Motoren bei voller Ausnutzung von 0,9 bis 0,5 cbm Leuchtgas verbrauchen.

5. Güldner-Motoren-Gesellschaft, Aschaffenburg.

Güldner, nach dem diese Art von Motoren bezeichnet wird, war früher Chefkonstrukteur des Dieselmotors und vertritt den Standpunkt, daß Motoren stehender Bauart mit oben liegendem Zylinder den Vorzug vor den liegenden verdienen. Fig. 49 zeigt eine solche

Anordnung. Als Vorzüge dieser Bauart sind hervorzuheben die vollständig zentrale Aufnahme des größten Kolbendruckes durch die Maschine selbst, daher kein Durchbiegen (Vibrieren) des Zylinders,

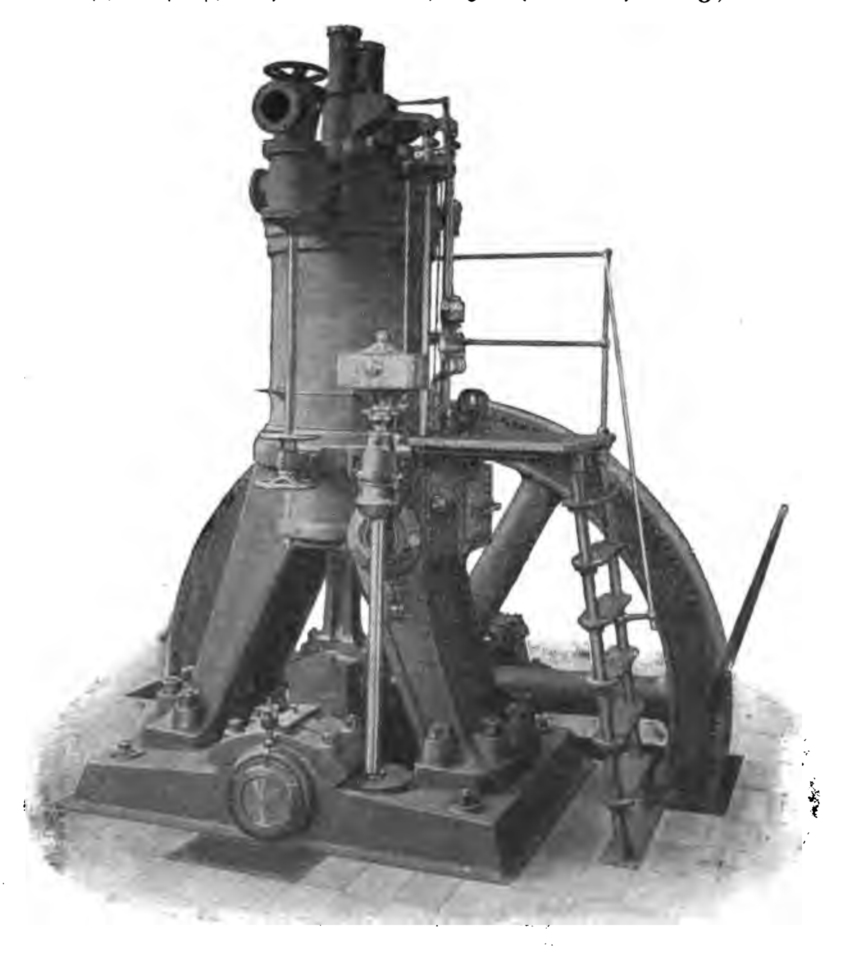


Fig. 49.

ferner kein Unrundlaufen der Zylinderbohrung durch das Kolbengewicht' leichte Zugänglichkeit der Ventile, bequemes Ausbauen und Wiedereinsetzen derselben und kleiner Raumbedarf.

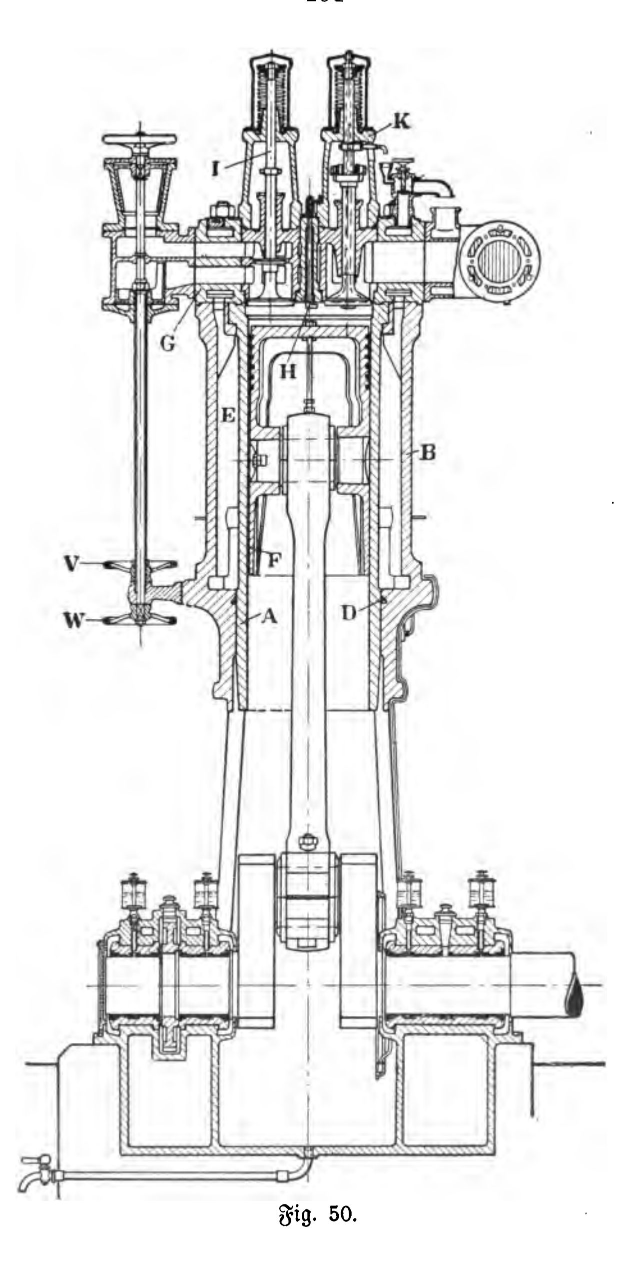


Fig. 50.

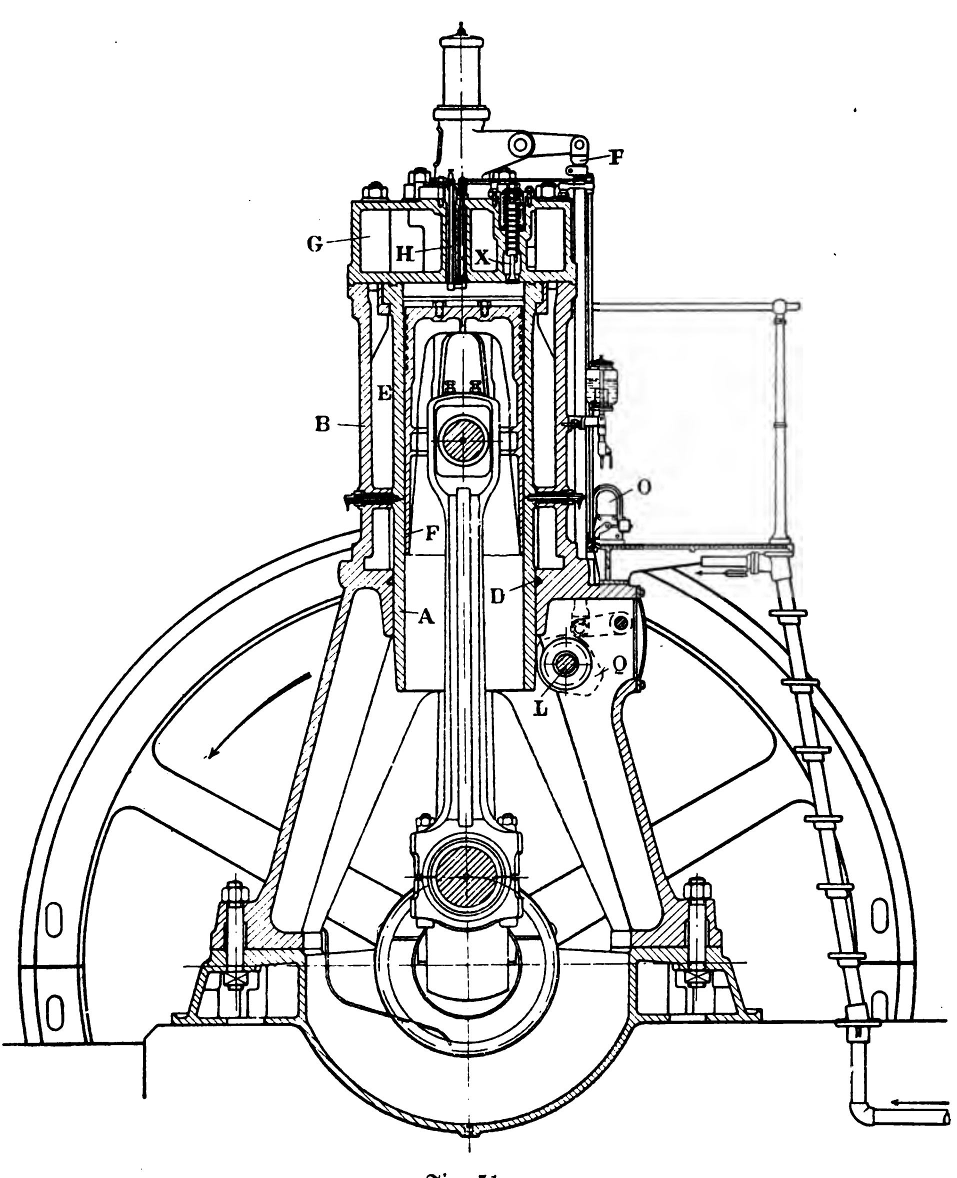


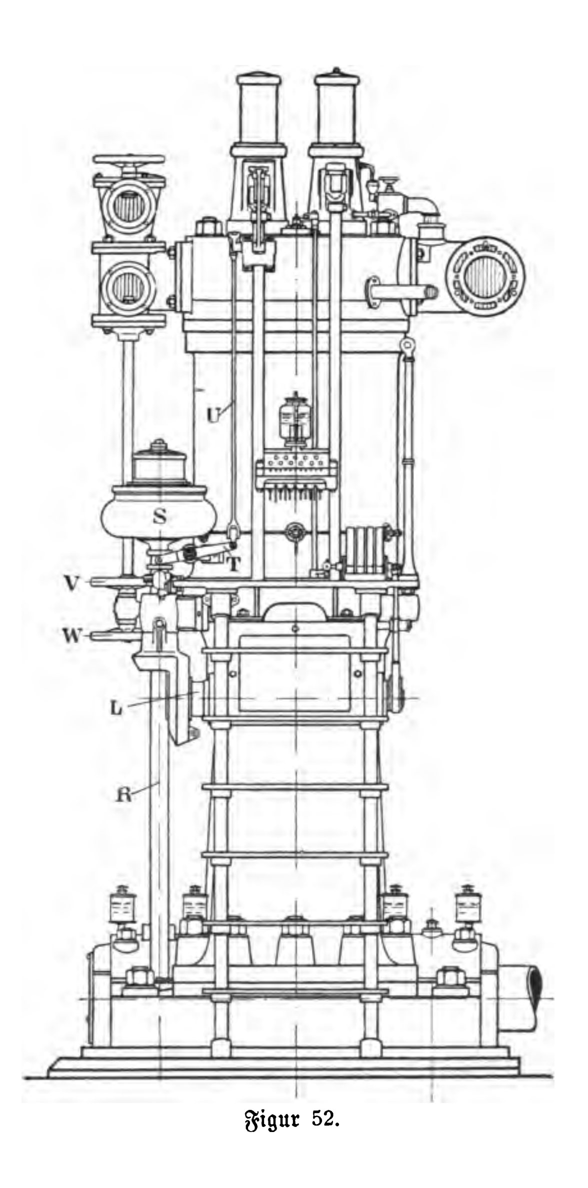
Fig. 51.

In Fig. 50 und 51 ist ein solcher Motor im Schnitt und in Figur 52 in der Ansicht gezeichnet. Auf einem kräftigen A förmigen Fußgestell, das, zugleich als äußerer Mantel B des Kühlraumes E ausgebildet ist, befindet sich oben der Zylinderkopf G, in dem die Ventile und die Zündung angeordnet sind. In dem Gestell ist ein Zylinder A eingesetzt, in welchem sich der Kolben F bewegt. Durch einen Kupferring D ist der innere Zylinder gegen das Gestell abgedichtet, so daß er sich den Temperaturen entsprechend, die er bei den Explosionen erhält, frei ausdehnen kann. Auf dem Zylinderkopf G befinden sich das Einlaßventil J und das Auslaßventil K. Beide sind so konstruiert, daß sie stets zentral durch eine obere und untere Führung bewegt werden, also niemals ecken können. Sie werden durch die Nocken Q an einer Steuerwelle L, durch Stangen F und Hebel geöffnet und durch Federdruck wieder geschlossen. Die Welle L ist im Gestell seitlich in etwa halber Höhe gelagert und wird von der Kurbelwelle durch eine senkrechte Welle R mittels Schraubenräder angetrieben. Die Federn sind oben im Ventilgehäuse gelagert, um sie vor Wärmestrahlungen zu schützen. Auf der Welle R ist oben der Regulator S angebracht, der durch den Doppelhebel T und die Stange U den Füllungsgrad des Einlaß- und Mischventils beeinflußt, so daß die Geschwindigkeitsregelung durch Änderung der Ladenmenge und Gemischzusammensetzung stattfindet. Letzteres geschieht, um ein stets sicher zündfähiges Gemisch zu erhalten. Durch die Handräder V und W können Gas- und Luftzuführung geöffnet und geschlossen und auch beliebig verstellt werden. Der elektrische Strom wird durch einen kleinen magnetischen Apparat O mit Abschnappvorrichtung erzeugt, die von der Steuerwelle aus angetrieben wird. Die Zündung erfolgt auf die bekannte Weise (Seite 76) bei H, sie läßt sich während des Ganges der Maschine etwas verstellen.

Interessant an diesem Motor ist, daß jeglicher tote Raum im Zylinder vermieden ist; der Zylinderdeckel und der Kolben haben an der Explosionsseite gerade Flächen. Die Zündung erfolgt gewissermaßen im Mittelpunkt des komprimierten Gasluftgemisches, so daß sie nach allen Seiten hin mit gleicher Schnelligkeit vor sich geht.

Für größere Motoren ist ein besonderes Druckluftanlaßventil vorhanden.

Ein 15 PS Güldnermotor verbrauchte bei einer Prüfung für eine indizierte Pferdekraftstunde 334 l bei 5040 WE für 1 cbm Leuchtgas; rechnet man, daß 30% in der Maschine durch Reibung, Aus-



Figur 52.

strahlung usw. verloren gehen, so würden für eine Nutzpferdestärke 434 l erforderlich sein. Diese Motoren werden von 10—150 PS einzylindrig und von 100—300 PS zweizylindrig gebaut.

Anlage- und Betriebskosten für ortsfeste Leuchtgasmotoren.

Bauart Güldner. Güldnermotoren-Gesellschaft, Aschaffenburg.

Nennleistung in PS eff.	10	15	20	25	30
Umdrehungszahl in 1 Minute	240	225	225	215	210
I. Anlagekosten.					
Preis des Motors . . . . . M	3700	4900	6000	6800	7300
Nebenkosten 30%*) . . . . „	1110	1470	1800	2040	2190
Gesamtanlagekosten . . . . . M	4880	6370	7800	8840	9490
Leuchtgasverbrauch für die eff. Pferdekraft in l**) . . . . „	480	450	445	440	440
II. Betriebskosten für 3000 Betriebsstunden, normale Leistung.					
Amortisation usw. 12½% . . M	610	796	975	1105	1186
Bedienung . . . . „	180	180	200	200	250
Schmieröl usw. . . . . „	120	140	160	200	220
Gas 1 cbm = 10 ₰ . . . „	1440	2025	2670	3300	3960
Jährliche Betriebskosten . . . M	2350	3141	4005	4805	5616
Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde***) ₰	7,8	7,0	6,7	6,4	6,2

6. Gasmotorenfabrik Aktien-Gesellschaft Cöln-Ehrenfeld (vorm. C. Schmitz).

Diese Firma baut außer Gasmotoren nach dem System Otto noch einen besonderen Motor für Kleingewerbetreibende und Landwirtschaft, den Simplex-Motor zum Betriebe mit Leuchtgas und

*) Nach Angabe der Firma werden die Fundamente leichter als bei den liegenden Motoren. Die Nebenkosten sollen deshalb nur 30% des Motorpreises ausmachen. Es ist aber auch zu berücksichtigen, daß die Preise für die Motoren höher sind als bei den liegenden gleicher Größe.

**) Diese Angaben sind keine von der Firma garantierten Werte. Sie sind, soweit angängig, aus Versuchen berechnet worden.

***) Diese Zahlenwerte weichen nur unerheblich von den auf Seite 90 berechneten ab. Sie haben auch nur bedingten Vergleichswert; wenn sich die Voraussetzungen ändern, müssen selbstredend auch sie einen anderen Wert erhalten. Genaue Werte lassen sich nur für bestimmte Fälle ermitteln.

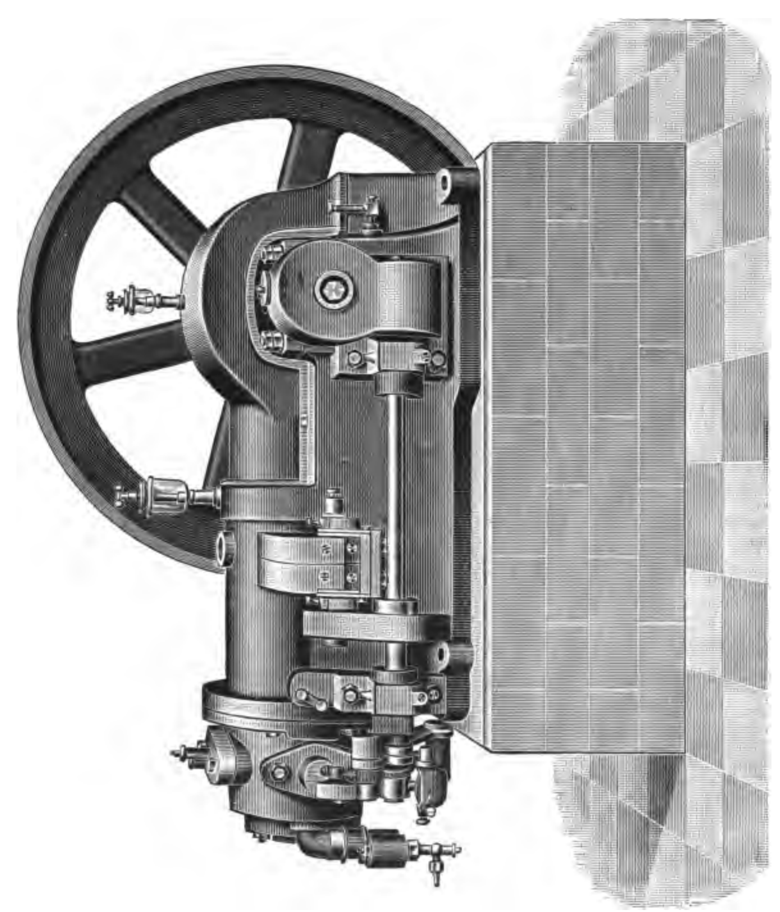


Fig. 53.

Benzin. Er ist in Fig. 53 abgebildet. Der Rahmen liegt vollständig auf dem Fundament und bildet zum Teil wieder den äußeren Kühlwassermantel. In ihm ist der eigentliche Zylinder eingesetzt. Der Zylinderkopf kann abgenommen werden, ohne die Steuerwelle zu entfernen. Das Triebwerk ist vollständig eingekapselt, um es vor Staub und Schmutz zu schützen. Das Einlaßventil ist gesteuert, Luft und Gas treten stets gut gemischt in den Zylinder ein.

Der Simplexmotor wird in folgenden Größen gebaut:

Dauerleistung in Pferdestärken PS eff. . .	2	3	4	6	8
Umdrehungen in der Minute	400	400	400	400	400
Preis des Motors . . . . ℳ	1150	1350	1600	1850	2100

7. Scheben & Krudewig m. b. H., Gasmotorenfabrik, Hennef-Sieg

bauen Gasmotoren nach dem System Otto unter Berücksichtigung der neueren Erfahrungen mit 3 verschiedenen Geschwindigkeiten,

a) Modell F für 200 Umdrehungen in der Minute mit Präzisionsregulierung:

Anzahl der Pferdestärken PS eff. .	2	3	4	6	8	10
Preis des Motors . . . . ℳ	1350	1650	2000	2650	3000	3600

b) Modell EF für 250 Umdrehungen in der Minute und einfacher Regulierung:

Anzahl der Pferdestärken PS eff. .	2	3	4	6	8	10
Preis des Motors . . . . ℳ	1250	1550	1900	2450	2800	3000

c) Modell E für 300 Umdrehungen in der Minute:

Anzahl der Pferdestärken PS eff. . . .	2	3	4	6	8
Preis des Motors . . . . ℳ	1200	1450	1800	2300	2600

8. Maschinen- und Motorenfabrik Scharrer & Groß, Nürnberg.

Die Firma baut ihre Motoren nach dem System Otto mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten:

Modell S, bei welchem die Motoren von 3,5, 4,5, 5,5 und 6,5 PS eff. 300 Umdrehungen und die von 7,5, 8,5, 10,2 und 12,5 275 Umdrehungen haben, sowie

Modell L, bei welchen die Motoren von 3 und 4 PS 250, bei 4,5 und 5,5 PS 240, von 8 und 9 PS 230 und von 10 und 12,5 nur 220 Umdrehungen haben.

9. Maschinenfabrik Kappel in Chemnitz

baut ihre Motoren ebenfalls nach dem System Otto und zwar in Größen von:

Anzahl der Pferdestärken PS eff. . . .	1	2	3	4	6	8	10	12	14 usw.
Umdrehungszahl . . .	220	220	220	220	220	200	180	180	180
Preis des Motors *M*	1050	1350	1650	2000	2500	3000	3500	3900	4350

Die Konkurrenz zwischen Gasmotor und Elektromotor hat dahin geführt, die Konstruktion der ersteren mehr derjenigen für Automobilmotoren anzupassen und sie dadurch leichter und billiger zu machen; selbstredend muß dabei die Umdrehungszahl auf Kosten der Haltbarkeit erhöht werden. In neuerer Zeit haben weitere Verbreitung gefunden die

10. Fafnirmotoren der Aachener Stahlwarenfabrik Aktiengesellschaft, Aachen.

In Fig. 54 ist ein Fafnirmotor in der Ansicht dargestellt. Fig. 55 zeigt ihn im Schnitt. Man erkennt darin den aus einem Gußstück bestehenden Zylinder, in den die Ventile und nötigen Rohrverbindungen eingesetzt sind. Der Zylinder ruht auf einem Gußgestell, in dem bei den kleinen Motoren 1 und 3,5 PS (Typenbezeichnung 6 stg und 4 stg) das zweiteilige Schwungrad angeordnet ist. Zwischen den beiden Teilen ist der Kurbelzapfen angebracht, an dem die Pleuelstange, die an dem entgegengesetzten Ende im Kolben an der Kolbenachse befestigt ist, angreift. Die Kurbel- oder Hauptachse trägt an der einen Seite die Riemenscheibe, an der anderen den Antrieb für die halb so schnell laufende Steuer- oder Reglerachse. Von dieser aus wird das Auslaßventil, das unter dem selbsttätig wirkenden Einlaßventil liegt, durch eine Stange aufgestoßen und die Umdrehungszahl durch eine vom Regulator beeinflußte Drosselklappe auf der einmal eingestellten Höhe erhalten. Auf der Steuerwelle befindet sich ferner der Antrieb für die magnet.-elektrische Zündung. Das Kühlwasser tritt unten in den Hohlraum des Zylinders ein und oben am Kopfe wieder aus. Bei den Gasmotoren für 4,5 und 7,5 PS liegt das Schwungrad außerhalb des Fußes neben der Riemenscheibe. Sie werden in ähnlicher Weise mittels Kurbel angedreht, wie die Automobilmotoren. Es interessiert hier durch Rechnung festzustellen, wie hoch sich die Anlage- und Betriebskosten solcher Motoren stellen.

Anlage- und Betriebskosten für ortsfeste Gasmotoren.

Bauart Fafnir, Aachener Stahlwarenfabrik A.-G. Aachen.

Typenbezeichnung	6 stg	4 stg	82 stg L	8 stg
Garantierte Leistung PS eff.	1	3,5	4,5*)	7,5
Umdrehungszahl	1000	1250	1000	700
Nettogewicht . . . . rd kg	61	160	260	665
Beanspruchte Grundfläche cm	40×52	60×68	125×52	165×80
I. Anlagekosten.				
Preis des Motors . . . . M	455	750	1505	2920
Nebenkosten 35 % . . . . „	160	263	527	1022
Gesamtanlagekosten . . . M	615	1013	2032	3942
Leuchtgasverbrauch für die effektive Pferdekraftstunde in l	850	750**)	700	650
II. Betriebskosten für 3000 Betriebsstunden, normale Leistung.				
Amortisation, Verzinsung, Instandhaltung 23 %***) . M	142	233	467	907
Bedienung . . . . „	120	120	130	140
Schmieröl, Putzwolle zc. . „	50	60	40	50
Gas 1 cbm = 10 ₰ . . . „	255	788	945	1463
Jährliche Betriebskosten . . M	567	1201	1582	2560
Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde ₰	18,9	11,4	11,7	11,4

Ein Vergleich mit der Berechnung auf Seite 90 zeigt, daß die Anlagekosten für diese Motoren erheblich niedriger als bei den dort besprochenen sind, daß aber infolge des hohen Gasverbrauchs die Betriebskosten verhältnismäßig hoch sind. Trotzdem wird man sie gern dort verwenden, wo nur ein kleiner Aufstellungsraum zur Verfügung steht.

Gasmotoren über 45 PS eff. bis 1800 PS eff. werden von der Vereinigten Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft

*) Derselbe Motor leistet bei 1100 Umdrehungen 5 PS und bei 1250 Umdrehungen 5,5 PS. Der Preis ist derselbe.

**) Angabe der Firma. Die anderen Werte sind angenommen.

***) Wegen der hohen Umdrehungszahl haben die Motoren eine kürzere Lebensdauer. Die Amortisation ist deshalb mit 15 % angenommen, Verzinsung wie früher 4½ % und die Instandhaltung wegen der größeren Abnutzung mit 3½ %.

Nürnberg A. G. in vorzüglicher Weise ausgeführt. Ferner liefert Gasmotoren noch die Aktien-Gesellschaft Dresdener Gasmotorenfabrik vorm. Moritz Hille, Dresden-A. (vergl. C. II. 5).

Mehrfach sind Versuche gemacht worden, an Stelle des Leuchtgases das Acetylengas zu verwenden; es ist das ein Gas von der Zusammensetzung C_2H_2 (2 Teile Kohlenstoff sind chemisch verbunden

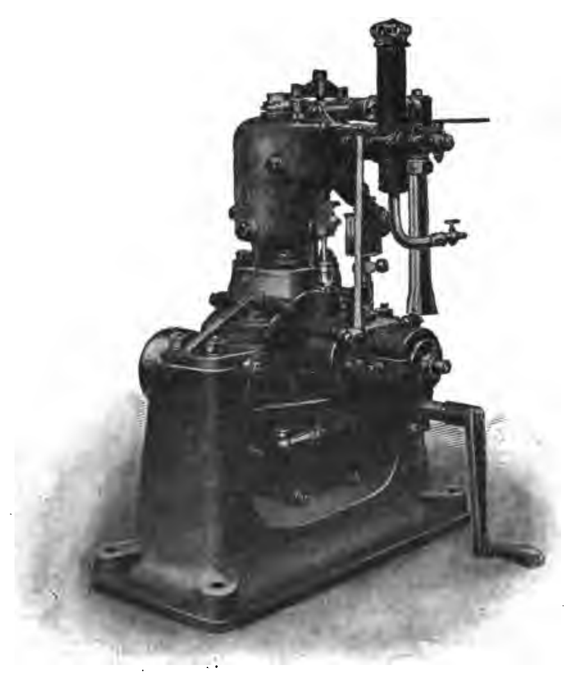


Fig. 54.

mit 2 Teilen Wasserstoff), das dadurch gebildet wird, daß man Calciumkarbid (CaC_2) mit Wasser in Berührung bringt. Die Entwickelung findet in folgender Weise statt: $CaC_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + C_2H_2$. Die Herstellung ist außerordentlich einfach. Dafür ist das Gas selbst aber sehr gefährlich, weil es innerhalb weiter Grenzen mit der atmosphärischen Luft ein explosibles Gemisch bildet. Nach den Versuchen von Dr. Eitner explodiert ein Acetylen-Luftgemisch, wenn es zwischen 3,5 und 52,2% Acetylen enthält, wie aus folgender Tabelle hervorgeht:

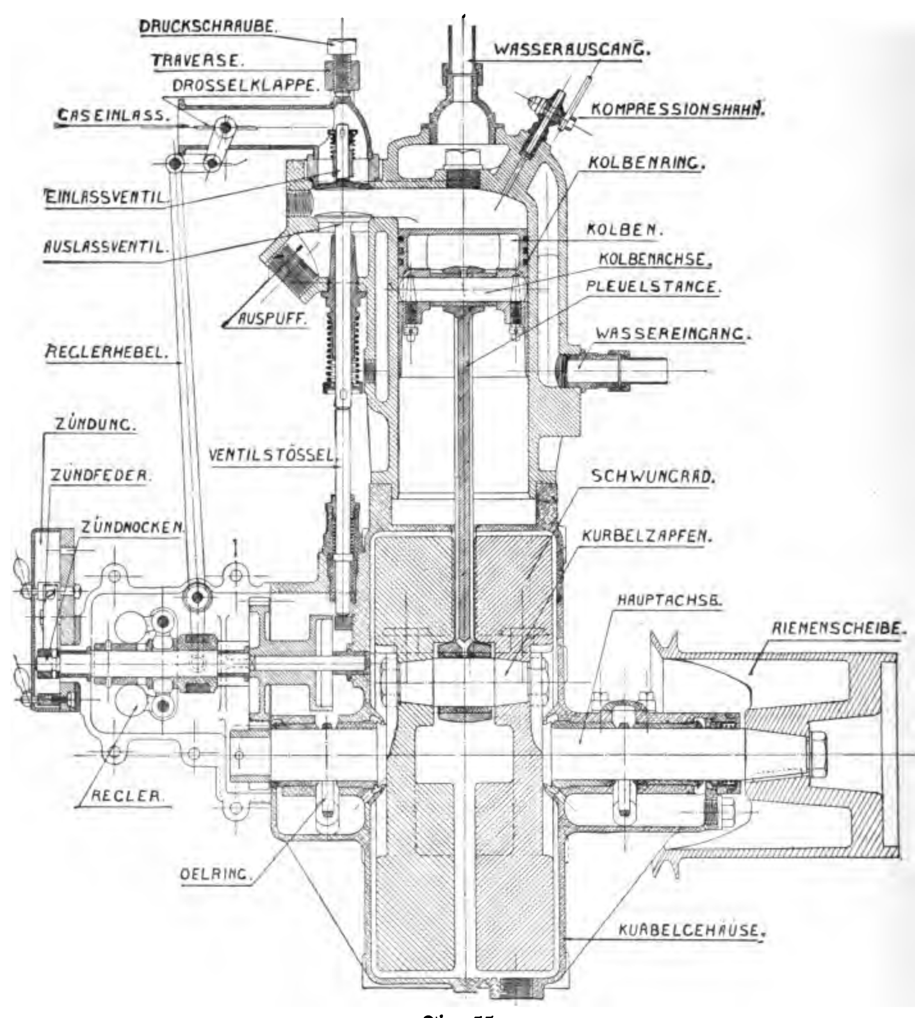

DRUCKSCHRAUBE.
TRAVERSE.
DROSSELKLAPPE.
CASEINLASS.
EINLASSVENTIL.
AUSLASSVENTIL.
AUSPUFF.
REGLERHEBEL.
ZÜNDUNG.
ZÜNDFEDER.
ZÜNDNOCKEN.
VENTILSTÖSSEL.
REGLER.
OELRING.
WASSERAUSGANG.
KOMPRESSIONSHAHN.
KOLBENRING.
KOLBEN.
KOLBENACHSE.
PLEUELSTANGE.
WASSEREINGANG.
SCHWUNGRAD.
KURBELZAPFEN.
HAUPTACHSE.
RIEMENSCHEIBE.
KURBELGEHÄUSE.

Fig. 55.

Acetylen mit Luft (feucht)

Temperatur 17°. Wasserdampf 1,9 %.

		Zusammensetzung der Mischung Acetylen. Vol. %	Luft. Vol. %	Versuchsergebnis
	1	3,0	97,0	keine Explosion
Untere	2	3,2	96,8	
Grenze	3	3,5	96,5	Explosionsbereich
Obere	5	52,2	47,8	
Grenze	6	52,4	47,6	keine Explosion
	7	52,9	47,1	

Diese Resultate gelten für gewöhnlichen Atmosphärendruck in einem Gefäß von 110 ccm Inhalt und Zündung durch den Induktionsfunken. Dr. Eitner weist aber zugleich darauf hin, daß die obere Grenze wesentliche Verschiebungen erleidet, wenn das Explosionsgefäß größer und die Temperatur höher wird; so explodiert noch ein Acetylen-Luftgemisch

von 60 % Acetylen in einem Gefäß von 400 ccm Inhalt
„ 70 % „ „ „ „ „ 1 l = 1000 ccm „
„ 75 % „ „ „ „ „ 2,5 l = 2500 ccm „

Da die Polizeibehörden vielfach besondere Sicherheitsvorschriften für Acetylengasanlagen erlassen haben und jetzt das billigere und viel gefahrlosere Kraftgas zur Verfügung steht, so ist kaum anzunehmen, daß Acetylengas eine große Bedeutung für den Betrieb von Gasmotoren erlangen wird, obwohl es gerade wegen seines großen Explosionsbereiches eine gute Regelung durch Veränderung des Gasgemisches ermöglichen würde.

Für Kraftzwecke, Heizung und Beleuchtung soll sich auch das aus Solin dargestellte Aërogengas eignen; die Apparate dazu werden von der G. m. b. H. Aërogengas in Hannover geliefert.

b) Flüssige Brennstoffe.

§ 11.

Benzin-, Petroleum-, Spiritus- rc. Motoren.

1. Allgemeines.

Schon früher wurde darauf hingewiesen, daß zum Betriebe der Gasmotoren nur gasförmige Brennstoffe verwendet werden können, die aus chemischen Verbindungen des Kohlenstoffs mit dem Wasserstoff bestehen (Acetylen) oder aus einem Gemisch von chemischen Verbindungen zwischen dem Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt sind (Leuchtgas) oder ein Gemisch von Kohlenstoff mit Sauerstoff (Kohlenoxyd) nebst Wasserstoff und Stickstoff bilden (Kraftgas). Alle diese Brennstoffe sind von Natur gasförmig und brauchen deshalb nur mit Luft gemischt zu werden, um mit Heftigkeit zu verbrennen.

Es gibt aber auch Flüssigkeiten, die aus ähnlichen Stoffen bestehen und ebenfalls zur Krafterzeugung benutzt werden können. Sie haben den großen Vorteil, daß sie leicht in geeigneten Gefäßen von einem beliebigen Ort zur Verbrauchsstelle gebracht werden können, wozu bei dem jetzt am meisten benutzten Leuchtgas lange Rohrleitungen erforderlich sind, während bei dem bisher wenig gebrauchten Acetylen- und Kraftgas die Gewinnung an der Verbrauchsstelle stattfinden kann; sie haben aber den Nachteil, daß sie sich im flüssigen Zustande nicht mit Luft in einer zur Verbrennung geeigneten Weise mischen. Es ist daher nötig, sie erst zu verdampfen (vergasen) oder fein zu zerstäuben, ehe sie in dem Motor ein explosibles Gemisch geben.

Die flüssigen Brennstoffe für den Motorbetrieb können gewonnen werden:

I. aus dem Erdöl, Steinöl oder Petroleum, das seit der Entdeckung der großen Lager in Pennsylvanien 1859 eine außerordentliche Bedeutung erlangte. Es wird hauptsächlich außerdem noch gewonnen in Ohio und Indiana, in Baku am Südende des Kaukasus, am Kaspischen Meere, in Galizien, Rumänien, in geringen Mengen im Elsaß (Pechelbronn) und in der Provinz Hannover bei Celle (Wietze). Es hat keine bestimmte chemische Zusammensetzung, sondern besteht aus einer großen Anzahl der verschiedenartigsten Kohlenwasserstoffverbindungen und hat deshalb auch nicht überall dasselbe spezifische Gewicht. Beispielsweise hat das pennsylvanische Rohpetroleum ein spezifisches Gewicht = 0,79, das russische = 0,85 und das im Elsaß gewonnene sogar = 0,9.

Bisher nahm man an, daß das Erdöl aus Tierresten entstanden oder ein Destillationsprodukt aus den Pflanzen der Steinkohlenzeit, also organischen Ursprungs sei; beide Ansichten sind nach den neuesten Forschungen wenig zutreffend. Unsere bedeutendsten Chemiker halten vielmehr dafür, daß das Petroleum im Innern der Erde bei der Zersetzung von Metallkarbiden, namentlich von kohlenstoffhaltigen Eisenverbindungen durch Wasser oder Wasserdampf entstanden sei und somit einen anorganischen Ursprung habe. Eine gewisse Bestätigung hat diese Annahme dadurch erfahren, daß Sabatier unlängst der Pariser Akademie der Wissenschaften nachgewiesen hat, daß man durch Einwirkung von Acetylen und Wasserstoff auf Kobalt, Nickel oder Eisen in fein verteiltem Zustande je nach der angewendeten Temperatur und sonstigen Versuchsbedingungen Öle von den Eigenschaften des amerikanischen, russischen oder rumänischen Petroleums herstellen kann.

In den Raffinerieren wird das rohe Erdöl, das aus einem Gemenge von verschiedenen Kohlenwasserstoffverbindungen besteht, deren jede bei einer anderen hohen Temperatur gasförmig wird, in großen Gefäßen erwärmt, wobei dann zunächst diejenigen Verbindungen gasförmig werden, die schon bei niedriger Temperatur sieden. Diese Gase werden dann aufgefangen und abgekühlt, damit sie wieder flüssig werden. Auf diese Weise kann man die leicht flüchtigen Verbindungen von den übrigen trennen. Erwärmt man die rohen Erdöle dann noch mehr, so destillieren die Verbindungen über, die erst bei höherer Temperatur flüchtig werden. Diese fängt man wieder besonders auf und kühlt sie ab, damit sie auch wieder flüssig werden, dann sind sie wieder von den leicht flüchtigen und den übrigen im Rohöl enthaltenen Verbindungen getrennt. Auf diese Weise zerlegt man in den Raffinerien durch fraktionierte Destillation gewöhnlich das Rohpetroleum in:

1. Leichtbenzine, das sind diejenigen Kohlenwasserstoffverbindungen, die bei einer Erwärmung des Rohöls bis 140° gasförmig werden; spezifisches Gewicht 0,64—0,74.

2. Schwerbenzine, das sind diejenigen Verbindungen, die zwischen 120° und 160° flüchtig werden; spezifisches Gewicht 0,75—0,78.

3. das Brennpetroleum, das sind diejenigen Verbindungen, die zwischen 150° und 300° flüchtig werden; spezifisches Gewicht 0,79 bis 0,82 und

4. die Rückstände, die erst bei einer Temperatur über 300° sieden und gewöhnlich als Mineralöle und Masut bezeichnet werden.

Die verschiedenen Rohöle enthalten von diesen Körpern etwa folgende Mengen:

Rohöl von	spezifisches Gewicht	Benzin %	Brennöl %	Rückstand %
Pennsylvanien	0,79—0,82	10—20	55—75	10—20
Ohio	0,80—0 85	10—20	30—40	35—50
Baku	0,85—0,90	5	25—30	60—65
Galizien	0 82—0,88	5—20	35—50	30—45
Elsaß	0,9	0—5	25	65—75

Die auf diese Weise gewonnenen Leichtbenzine werden wieder destilliert, dabei entstehen etwa folgende Produkte:

a) Petroleumäther oder Gasolin, das bei 40—70° siedet und ein spezifisches Gewicht von 0,64—0,66 hat.

b) Solin, das bei 60—80° siedet und ein spezifisches Gewicht von 0,66—0,68 hat.

c) Automobilbenzin, das bei 70—110° siedet und ein spezifisches Gewicht von 0,68—0,70 hat.

d) Lösungsbenzin, das bei 90—120° siedet und ein spezifisches Gewicht von 0,69—0,71 hat.

e) Ligroin, dessen Siedepunkt zwischen 120 und 140° liegt und dessen spezifisches Gewicht 0,71—0,74 beträgt.

II. aus Steinkohlenteer. Wenn man den Steinkohlenteer, der zum größten Teil als Nebenprodukt bei der Leuchtgasdarstellung gewonnen wird, einer fraktionierten Destillation unterzieht, so erhält man

1. Leichtöle, die bis etwa 170° übergehen und aus denen durch weitere Destillation gewonnen werden

a) Rohbenzol, Siedepunkt 70—140°. Es geht meistens in die Farbenfabriken, kann aber auch für Motoren benutzt werden.

b) Benzin, Siedepunkt 140—170°, auch Naphtha genannt.

c) Ergin, ein Benzol (Rütgerswerke in Rauxel), das mit schwereren und billigeren Destillationsprodukten, wie Kreosotöl, Naphthalin usw. gemischt ist. Es hat ein spezifisches Gewicht von

0,89—0,9 und siedet zwischen 95 und 200°. Entflammungspunkt unter 21° Celsius.

2. Mittelöle, deren Siedepunkt von 170—230° liegt. Aus ihnen wird Karbolsäure und Naphthalin gewonnen. Sie sind für Motoren nicht gut verwendbar. Dasselbe gilt von den nun folgenden Produkten:

3. Schweröle, Siedepunkt 230—270°.

4. Anthracenöle, Siedepunkt über 270°, und

5. Pech als Rückstand.

III. aus Braunkohlenteer. Aus 100 kg Braunkohlen gewinnt man in guten Schweelzylindern bei der trockenen Destillation etwa 10 kg Teer. Dieser wird einer nochmaligen Destillation unterworfen, wodurch man

1. leichte Rohöle erhält, bei deren Destillation man folgende Körper gewinnt:

a) Benzin, Benzolin oder Naphtha, deren Siedepunkt von 70—120° liegt und die ein spezifisches Gewicht von 0,7 haben.

b) Ligroin, Siedepunkt von 120—135°, spezifisches Gewicht = 0,73.

c) Solaröl, Siedepunkt 160—196°, spezifisches Gewicht 0,825—0,830.

d) Photogen oder Hydrokarbür, Siedepunkt von 100—262°, spezifisches Gewicht 0,80—0,81. Es wird gebildet aus einem Gemisch von Ölen, die ein spezifisches Gewicht von 0,76—0,865 haben.

2. Paraffinöle.

3. schwere Rohöle.

IV. aus den Gasen bei der Koksdarstellung. Diese Gase werden durch Palmkernöl, Leinöl oder dergleichen geleitet und von diesen zum Teil aufgenommen. Das auf diese Weise gesättigte Öl wird destilliert, wobei man Benzol, Toluol ꝛc. gewinnt, von denen das Benzol für Motoren verwendbar ist.

V. aus Getreide oder aus Kartoffeln. Aus ihnen wird in großer Menge Spiritus oder Äthylalkohol (C_2H_5OH) dargestellt, er siedet bei 78° und hat ein spezifisches Gewicht von 0,79—0,82, je nach dem Gehalt an Wasser.

Benzin, Ligroin, Naphtha und andere Petroleumdestillate unter 790 Dichtigkeitsgraden (spezifisches Gewicht unter 0,79) sind nach der Verordnung des Bundesrats vom 2. Dezember 1885 zollfrei, wenn sie unter Kontrolle zur Krafterzeugung benutzt werden.

Der Preis für diese Flüssigkeiten war im Juli 1907 etwa folgender:

Leichtbenzin . . .	ℳ 36	für 100 kg
russisches Petroleum	„ 20	„ „ „
Spiritus	„ 24	„ „ „
Ergin	„ 17	„ „ „
Schwerbenzin . . .	„ 20	„ „ „
Paraffinöl . . .	„ 10	„ „ „

Das Motorenpetroleum ist vom Zoll nicht befreit, 100 kg kosten 6 ℳ Zoll.

Beim Verbrennen liefert 1 kg Benzin etwa 10000—10400 WE, 1 kg Petroleum etwa 10000—11000 WE und 1 kg Ergin und die Braunkohlenteeröle 10000 WE. Von der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft wurde 1894 in Berlin für die Prüfung von Petroleummotoren Erdöl folgender Zusammensetzung benutzt.

Gehalt an	Petroleum	
	amerikanisches	russisches
Kohlenstoff . . . . %	84,54	85,52
Wasserstoff . . . . „	14,08	13,98
Sauerstoff . . . . „	1,38	0,50
1 kg liefert WE	10 767	10 878
Spezifisches Gewicht . . .	0,7971	0,8257
Entflammungspunkt . . .	25°	31,5°

Die Zentrale für Spiritus-Verwertung G. m. b. H. in Berlin verkauft 100 l 90 vol%igen denaturierten Spiritus zum Motorenbetrieb für 20 ℳ in der Zeit vom 1. November bis zum 15. Mai bei Abnahme von mindestens 5000 kg in den eigenen Gebinden des Käufers auf einmal bezogen und für die Zeit vom 16. Mai bis 31. Oktober für 21 ℳ unter denselben Bedingungen. Beim Bezug einzelner Fässer, mindestens jedoch 1 Barrels, ist der Preis um 1,50 ℳ höher. Der Motorspiritus wird entweder mit dem allgemeinen Denaturierungsmittel (2% Holzgeist und ½% Pyridin) oder mit 1¼% des allgemeinen Denaturierungsmittels (¼% Kristallviolettlösung und 2% Benzol) denaturiert. Der Benzolzusatz darf 20% gegen Erstattung der Mehrkosten betragen.

Der Spiritus hat ein spezifisches Gewicht von etwa 0,84. Nimmt man das an, so wiegen 100 l = 84 kg und kosten 20 ℳ; demnach wäre der Preis für 100 kg = 23,8 ℳ. Beim Verbrennen liefert 1 kg 5800—6700 WE, je nach dem Gehalt an Wasser, im Mittel 6200 WE.

Die Motoren verbrauchen im Durchschnitt für die Nutzpferdestärke in der Stunde etwa 0,3 kg Benzin, 0,4 kg Petroleum, 0,4 kg Spiritus, 0,25 kg Ergin und 0,25 kg Benzol, somit ergibt sich ein wirtschaftlicher Wirkungsgrad

$$\text{Benzinmotor } g_w = \frac{76 \cdot 60 \cdot 60}{0{,}3 \cdot 10200 \cdot 424} = 0{,}22$$

$$\text{Petroleummotor } g_w = \frac{75 \cdot 60 \cdot 60}{0{,}4 \cdot 10700 \cdot 424} = 0{,}15$$

$$\text{Spiritusmotor } g_w = \frac{75 \cdot 60 \cdot 60}{0{,}4 \cdot 6200 \cdot 424} = 0{,}26$$

$$\text{Ergin- u. Benzolmotor } g_w = \frac{75 \cdot 60 \cdot 60}{0{,}25 \cdot 10000 \cdot 424} = 0{,}26$$

wenn 1 kg Benzin 10200 WE, 1 kg Petroleum 10700 WE, 1 kg Spiritus 6200 WE und 1 kg Ergin oder Benzol 10000 WE liefert. Die letzten 2 Motorarten nutzen demnach die in ihnen erzeugte Wärme am besten und der Petroleummotor am schlechtesten aus, alle übertreffen sie aber die kleinen Dampfmaschinen mit ihrem wirtschaftlichen Wirkungsgrad von 0,042 (Seite 31) und bleiben hinter dem der Gasmotoren mit 0,25 (Seite 61) nicht zurück, wenn man die Gaserzeugung nicht berücksichtigt, weil das Leuchtgas fertig zum Gebrauch geliefert wird. Mit Einschluß der Gaserzeugung ist $g_w = 0{,}051$, also erheblich niedriger.

Hinsichtlich der Verwendbarkeit der flüssigen Brennstoffe in den Motoren ist noch hervorzuheben, daß die Leichtbenzine wegen ihrer niedrigen Entzündungstemperatur nur eine geringe Kompression im Zylinder vertragen (etwa bis 5 Atmosphären), weil sonst Selbstentzündung eintritt. Sie verdampfen schon bei niedrigen Temperaturen leicht, liefern also bequem und leicht ein brauchbares Gas und sind reinlich im Betriebe. Das Petroleum verdampft schwerer und hat die unangenehme Eigenschaft, Graphit auszuscheiden, das den Betrieb des Motors in Frage stellen kann; da es außerdem teurer als Benzol, Ergin oder Schwerbenzin für die Nutzpferdestärke wird, verwendet man es in Deutschland fast garnicht mehr. Das Benzol verträgt etwa 10 und das Ergin 12 Atmosphären Kompression. Dabei haben beide

keinen höheren Brennstoffverbrauch als das Leichtbenzin. Solaröl und Paraffinöle haben wegen ihres niedrigen Preises und ihres geringen Verbrauchs für die Arbeitseinheit eine ziemlich weite Verbreitung gefunden.

In Preußen bestehen für den Verkehr mit Mineralölen fast übereinlautende Polizeiverordnungen, deren Vorschriften genau zu beachten sind. Sie unterscheiden die Mineralöle (Rohpetroleum und dessen Destillationsprodukte [leichtsiedende Öle, Leuchtöle und leichte Schmieröle], ferner die aus Braunkohlen- oder Steinkohlenteer bereiteten Kohlenwasserstoffe [Photogen, Solaröl, Benzol usw.] und Schieferöle) nach dem Grade der Entflammbarkeit ihrer Dämpfe.

1. Zu Klasse I gehören alle Flüssigkeiten, die bei weniger als 21° C und 760 mm Luftdruck entflammbare Dämpfe geben (Leichtbenzin, Schwerbenzin, Gasolin, Automobilbenzin, Solin, Ligroin, Ergin usw.). Diese dürfen in Wohnräumen, Schlafräumen, Küchen, Korridoren und Kontoren, in Gast- und Schankstuben nur in Mengen von insgesamt 15 kg und nur in geschlossenen Gefäßen aufbewahrt werden. Für Mengen von mehr als 2 kg dürfen nur verzinnte, verzinkte und verbleibte Blechgefäße verwendet werden, deren Öffnungen mit feinmaschigen Drahtnetzen versehen sind, die ein Hindurchschlagen von Flammen sicher verhüten und ein Sicherheitsventil haben.

Mengen zwischen 15 und 300 kg dürfen nur nach vorheriger Anzeige bei der Ortspolizeibehörde gelagert werden. Die an die Lagerräume zu stellenden Anforderungen teilt sie mit. Das Umfüllen dieser Flüssigkeiten in den Lagerräumen darf nur bei Tageslicht oder besonders vorgeschriebener Beleuchtung, die keine Explosion hervorrufen kann, mittels Hahn oder Pumpe stattfinden.

Mengen zwischen 300 und 2000 kg dürfen nur mit polizeilicher Erlaubnis in besonderen Tanks gelagert werden.

2. Zur Klasse II gehören alle Flüssigkeiten, die bei einer Erwärmung von 21—65° C und 760 mm Luftdruck entflammbare Dämpfe liefern (Petroleum, Solaröl).

In den unter I bezeichneten Räumen dürfen bis 25 kg aufbewahrt werden. Mengen zwischen 600 und 10000 kg dürfen nur nach vorheriger Anzeige bei der Ortspolizei in Räumen, die bestimmten Vorschriften entsprechen, gelagert werden.

3. Zur Klasse III gehören alle Flüssigkeiten, die bei einer Erwärmung von 65—140° C und 760 mm Luftdruck entflammbare

Dämpfe geben (Paraffinöl [Gelböl, Rotöl, Gasöl]). Bei Mengen bis zu 10000 kg in Fässern muß dafür gesorgt sein, daß beim Platzen der Fässer der Inhalt nicht fortfließen kann, was durch Vertiefung im Boden mittels feuersicheren Baustoffs zu erreichen ist.

Mengen von 10000—50000 kg dürfen nur nach erfolgter Anzeige bei der Ortspolizeibehörde gelagert werden, die dann die Vorschriften mitteilt.

Die Motoren für die flüssigen Brennstoffe gleichen in ihrer Wirkungsweise und Konstruktion den Gasmotoren, nur müssen sie naturgemäß noch folgende Teile (vergl. S. 62) mehr enthalten:

a) einen Apparat, der den Brennstoff in der erforderlichen Menge zuführt, meistens eine kleine Pumpe und bis auf die Einspritzmotoren

b) einen Brennstoffzerstäuber.

II. Besondere Ausführungsweisen der Zerstäubungsmotoren.

1. Gasmotorenfabrik Deutz in Cöln-Deutz.

Die Firma führt die Motoren für flüssige Brennstoffe (Benzin, Schwerbenzin, Benzol, Rohbenzol, Petroleum, Spiritus, Ergin) in ähnlicher Weise aus, wie ihre im Betriebe längst bewährten Gasmotoren. Zur Vermeidung der Feuergefährlichkeit und behufs sicherer Zündung erhalten alle Motoren magnetelektrische Zündvorrichtung, wie sie auf Seite 76 beschrieben wurde. Die Zufuhr des flüssigen Brennstoffes geschieht entweder selbsttätig durch Schwimmapparat und Zerstäuberdüse oder mittels kleiner Pumpe und Zerstäuberdüse.

Die ortsfesten Motoren zerfallen wieder:

1. in solche liegender Anordnung
   a) mit großer Umdrehungszahl des Schwungrades (350—230) Modell E_{12} von 4—20 PS;
   b) mit niedriger Umdrehungszahl des Schwungrades (250—200) Modell E_3, E_{10}, E_{20} und I von 1—30 PS;
2. in solche stehender Anordnung
   a) mit großer Umdrehungszahl des Schwungrades (750—475) Modell 6, 1—8 PS einzylindrig; 6—18 PS zweizylindrig (Zwillingsmotor); 18—40 PS vierzylindrig (Vierzylindermotoren);
   b) mit niedriger Umdrehungszahl des Schwungrades (250—240) Modell D_4 von 1—5 PS.

Ortsfeste Motoren liegender Anordnung.

Die Motoren werden in der Fabrik für einen Brennstoff ausprobiert, auf Wunsch auch für mehrere. Soll aus irgend einem Grunde ein anderer Brennstoff als der angegebene verwendet werden, so muß die Brennstoffdüse in jedem Falle und wenn der neue Brennstoff auch eine andere Kompression erfordert, der Zylinderdeckel ausgewechselt werden. Es sind das Arbeiten, die keine besondere Sach-

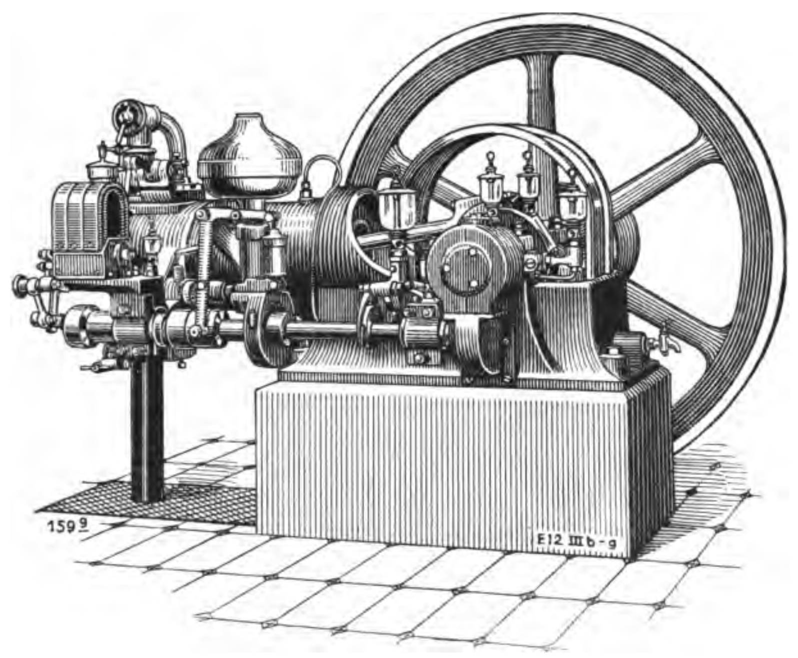


Fig. 56.

kenntnis erfordern und von jedem etwas intelligenten Arbeiter vorgenommen werden können. Da diese Motoren auch auf einem fahrbaren Gestell angeordnet werden können, so würde unter Umständen die Mitführung des Kühlwassers für den Zylinder viele Schwierigkeiten machen und Kosten bereiten; es sind deshalb Modell E_{10} und Modell E_{12} so konstruiert, daß sie mit Verdampfungskühlung oder Zirkulationskühlung geliefert werden können. Modell E_{12} eignet sich besonders für fahrbaren Betrieb. Die Verdampfungskühlung besteht

darin, daß der Kühlmantel oben kastenförmig erweitert ist und durch einen Deckel verschlossen werden kann. In ihm ist ein Rohr, durch welches der entstehende Wasserdampf entweicht. Diese Einrichtung ist zuerst von Altmann 1894 bei der Motorenkonkurrenz der Landwirtschaftsgesellschaft in Berlin gezeigt worden. Zum Nachfüllen sind etwa 1—1,2 l für die Pferdekraftstunde erforderlich. Zweckmäßig wird

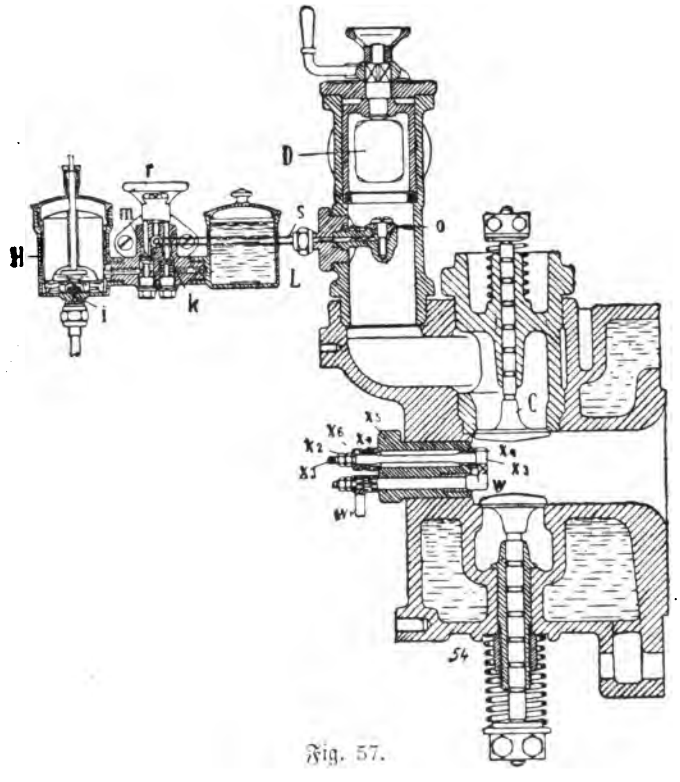


Fig. 57.

sie aber nur beim Betrieb mit Ergin und Spiritus verwendet. Bei der Zirkulationskühlung wird entweder das warme Wasser nicht wieder zur Kühlung verwendet, dann sind etwa 3,5 l für die Pferdekraftstunde erforderlich, oder es muß besonders aufgefangen und durch Ventilationsvorrichtungen wieder abgekühlt werden, dann muß nur soviel zugesetzt werden als verdunstet. Wenn die Motoren mit Petroleum, Rohbenzol, Benzol, Ergin oder Spiritus betrieben werden,

ist es zweckmäßig, sie mit Benzin anzulassen und so lange zu betreiben, bis die Zylinderwandungen so heiß sind, daß auch die anderen Brennstoffe verdampfen und verbrennen. Zu diesem Zweck ist eine besondere kleine Vorrichtung vorhanden.

In Fig. 56 ist ein Motor E_{12} dargestellt. Die Konstruktionsteile stimmen im allgemeinen derart mit denjenigen des auf Seite 72 be-

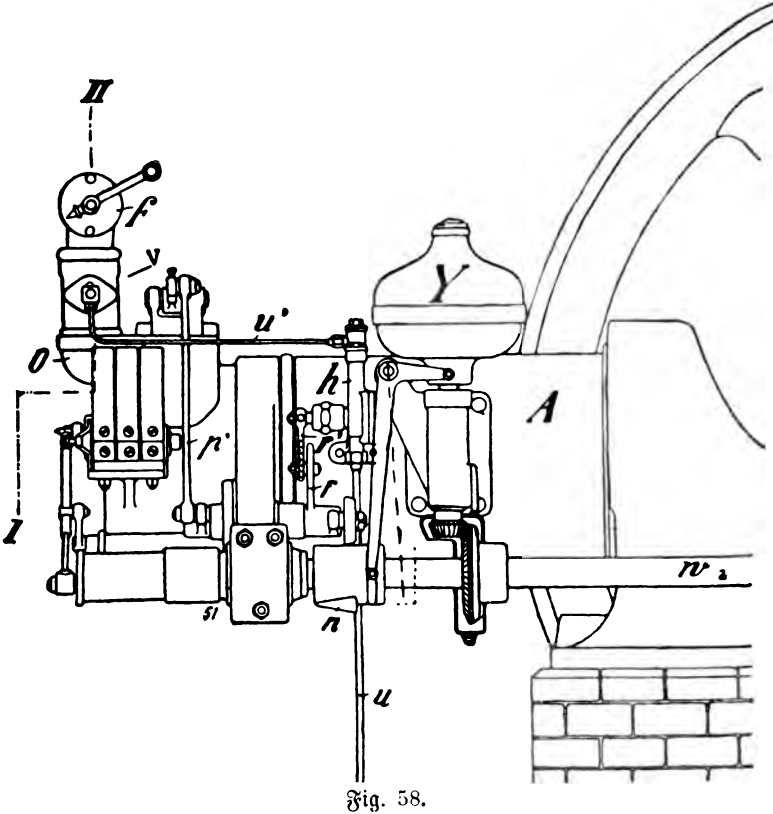


Fig. 58.

schriebenen Gasmotors überein, daß hier nur kurz die besonderen erwähnt zu werden brauchen. Dahin gehört zunächst die Bildung des Explosionsgemisches. Die Brennstoffzuführung vom Versandgefäß zum Motor geschieht entweder selbsttätig aus einem kleinen hochgelegenen Vorratsgefäß oder durch eine kleine vom Motor angetriebene Pumpe.

Im ersten Fall wird der Brennstoff aus dem zum Versand dienenden Gefäß, das in einem besonderen Raum gelagert werden muß (vergl. Polizei-Verordnung Seite 122), dem Vorratsgefäß mittels Flügelpumpe von Hand zugeführt. Dieses Vorratsgefäß steht mit dem kleinen Schwimmergefäß H (Fig. 57) durch eine Rohrleitung in Verbindung. Der Schwimmer wirkt auf ein kleines Nadelventil in der Rohrleitung so ein, daß im Gefäß stets der Flüssigkeitsspiegel in derselben Höhe steht. Steigt die Flüssigkeit, so hebt sich der Schwimmer etwas, wodurch das Nadelventil geschlossen wird und umgekehrt. Das Schwimmergefäß steht durch eine Rohrleitung s mit der Zerstäuberdüse O in Verbindung, deren Ausflußöffnung immer etwas höher liegen muß als der Flüssigkeitsspiegel im Schwimmerapparat. Es bezeichnet in der Figur ferner C das Einströmventil für das Brennstoffluftgemisch und D die Eintrittsöffnung für die Luft. Der Hohlraum, in dem sich die Zerstäuberdüse O befindet, bezeichnet man als Mischraum. Wenn der Kolben in dem Zylinder während der Saugperiode Luft ansaugt, entsteht in dem Mischraum ein Unterdruck, infolge dessen wird von H Brennstoff durch die Düse O angesaugt und durch sie in dem Luftstrom fein verteilt. An den heißen Zylinderwandungen und in der von ihnen ausgestrahlten Wärme tritt eine Verdampfung des Brennstoffes ein, so daß am Schluß der Kompressionsperiode das Brennstoffluftgemisch sicher entzündet werden kann. Zum Anlassen ist ein Benzingefäß L vorhanden; zwischen beiden ist ein Handrädchen r angeordnet, dessen Vorsprung so gestellt werden kann, daß er das kleine Ventil K öffnet und m geschlossen läßt, dann saugt der Motor Benzin an. Ist er genügend erwärmt, dann dreht man r so, daß m geöffnet und k geschlossen ist, der Motor arbeitet mit seinem Brennstoff. Soll der Motor still gesetzt werden, wird r so gedreht, daß k und m geschlossen sind.

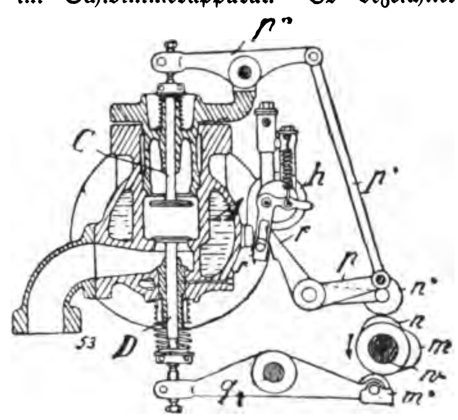


Fig. 59

Bei der Ausführung des Motors mit der Brennstoffzuführung durch eine Pumpe h (Fig. 58 u. 59) wird dieser durch die Rohrleitung u der Brennstoff zugeleitet. Sie drückt in jeder Saugperiode ein bestimmtes Quantum durch die Leitung u' zur Zerstäuberdüse O (Brause) und in den Mischraum, wo die feine Verteilung in dem Luftstrom stattfindet. Die Brennstoffpumpe h ist eine einfach wirkende Plungerpumpe mit automatischem Saug- und Druckventil. Die Bewegung des Plungers geschieht durch einen zweiarmigen Hebel, dessen einer Arm mit einer Rolle n' über einen Nocken n der Steuerwelle läuft und dessen anderer r gegen den Plunger drückt. Sobald die Rolle auf die Wulst des Nockens aufläuft, saugt der Plunger, wenn sie von ihm herabläuft, drückt er den Brennstoff in den Mischraum. Die Anordnung ist so getroffen, daß der Brennstoff erst bei der zweiten Hälfte der Saugperiode eingespritzt wird, wodurch ein gutes, sicher zündbares Gemisch entsteht. Der Hub der Pumpe kann von Hand verstellt werden. Zündung und Steuerung geschehen in der bekannten Weise. Die Regulierung der Umdrehungszahl des Schwungrades geschieht durch Änderung der Brennstoffzufuhr unter Beibehaltung der Zusammensetzung des Gemisches durch den Regulator, der den Einströmnocken verschiebt und dadurch den Hub des Einströmventils und den Hub der Pumpe ändert.

Zur Erleichterung des Inbetriebsetzens befindet sich an der Ausströmnockenscheibe ein zweiter Nocken (Anlaßnocken), über den man beim Anlassen die Rolle des Ausströmhebels zur Verminderung der Kompression laufen läßt.

Eine Beschreibung und Abbildung der Modelle E_3, E_{10}, E_{20} und I ist nicht erforderlich, da sie nur wenig von E_{12} abweichen.

Anlage- und Betriebskosten für ortsfeste Motoren liegender Anordnung mit flüssigen Brennstoffen.

Ausführungsweise: Gasmotorenfabrik Deutz, Cöln-Deutz.

Modell	E_{12}					E_3	E_{20}		1	E_{10}	
Zulässige Dauerleistung PS eff.	4	6	8	12	20	1	4	6	8	12	20
Umdrehungszahl in 1 Minute .	350	350	330	280	230	250	275	260	250	200	200

I. Anlagekosten.

Preis des Motors M	1700	2000	2400	3300	5500	1350	2000	2400	2800	4550	6800
Nebenkosten 35 % M	595	700	840	1155	1925	473	700	840	980	1593	2380
Anlagekosten . M	2295	2700	3240	4455	7425	1823	2700	3240	3780	6143	9180

Verbrauch an Brennstoff für 1 PS eff. in einer Stunde.

Leichtbenzin (36 M) g	360	350	350	330	320	400	360	350	350	330	320
Petroleum (20 M) g	460	440	440	420	400	500	460	440	440	420	400
Spiritus (24 M) g	440	430	420	420	420	480	440	430	420	420	420
Ergin (17 M) g	290	290	290	270	250	330	290	290	290	270	250

II. Betriebskosten. 3000 Betriebsstunden. Normale Leistung.

1. Amortisation 2c. 12½ % M	287	338	405	557	928	228	338	405	473	768	1148
2. Bedienung „	160	160	200	200	240	160	160	160	200	200	240
3. Schmieröl 2c. „	55	75	100	120	160	40	55	75	100	120	160
Summe M	502	573	705	877	1328	428	553	640	773	1088	1548

Jährlicher Brennstoffverbrauch.

Leichtbenzin . M	1555	2268	3024	4277	6912	432	1555	2268	3024	4277	6912
Petroleum . . „	1104	1584	2112	3024	4800	300	1104	1584	2112	3024	4800
Spiritus . . „	1267	1858	2419	3629	6048	346	1267	1858	2419	3629	6048
Ergin . . . „	592	887	1183	1652	2550	168	592	887	1183	1652	2550

Jährliche Betriebskosten.

Leichtbenzin . M	2057	2841	3729	5154	8240	860	2108	2908	3797	5365	8460
Petroleum . . „	1606	2157	2817	3901	6128	728	1657	2224	2885	4112	6348
Spiritus . . „	1769	2431	3124	4506	7376	774	1820	2498	3192	4717	7596
Ergin . . . „	1094	1460	1888	2529	3878	596	1145	1527	1956	2740	4098

Kosten von 1 PS eff. in einer Stunde.

Leichtbenzin . ₰	17,1	15,8	15,5	14,3	13,7	28,7	17,5	16,2	15,8	14,9	14,1
Petroleum . . „	13,4	12,0	11,7	10,8	10,2	24,3	13,8	12,4	12,0	11,4	10,6
Spiritus . . „	14,7	13,5	13,0	12,5	12,3	25,8	15,2	13,9	13,3	13,1	12,7
Ergin . . . „	9,1	8,1	7,9	7,0	6,5	19,9	9,5	8,5	8,2	7,6	6,9

III. Betriebskosten. 1000 Betriebsstunden. Normale Leistung.

1. Amortisation 2c. $12^1/_2$% *M*	287	338	405	557	928	228	338	405	473	768	1148
2. Bedienung „	80	80	100	100	120	80	80	80	100	100	120
3. Schmieröl 2c. 40% „	22	30	40	48	64	16	22	30	40	48	64
Summe *M*	389	448	545	705	1112	324	440	515	613	916	1332
Jährlicher Brennstoffverbrauch.											
Leichtbenzin . *M*	518	756	1008	1426	2304	144	518	756	1008	1426	2304
Petroleum . . „	368	528	704	1008	1600	100	368	528	704	1008	1600
Spiritus . . „	422	619	806	1210	2016	115	422	619	806	1210	2016
Ergin . . . . „	197	296	394	551	850	56	197	296	394	551	850
Jährliche Betriebskosten.											
Leichtbenzin . *M*	907	1204	1553	2131	3416	468	958	1271	1621	2342	3636
Petroleum . . „	757	976	1249	1713	2712	424	808	1043	1317	1924	2932
Spiritus . . „	811	1067	1351	1915	3128	439	862	1134	1419	2126	3348
Ergin . . . . „	586	744	939	1256	1962	360	637	811	1007	1467	2182
Kosten von 1 PS eff. in einer Stunde.											
Leichtbenzin . *M*	22,7	20,1	19,4	17,8	17,1	46,8	23,9	21,2	20,3	18,7	18,2
Petroleum . . „	18,9	16,3	15,6	14,3	13,6	42,4	20,2	17,4	16,5	15,2	14,7
Spiritus . . „	20 0	17,8	16,9	15,9	15,6	43,9	21,6	18,9	17,7	16,9	16,7
Ergin . . . . „	14,7	12,4	11,7	10,5	9,1	38,0	15,9	13,5	12,6	12,2	10,9

Ortsfeste Motoren stehender Anordnung.

Da die Motoren für flüssige Brennstoffe überall verwendet werden können, so eignen sie sich ausschließlich für wechselnde Betriebsstellen, wie sie namentlich in der Landwirtschaft und bei einzelnen Gewerbebetrieben vorkommen. Für den Transport aber darf ein solcher Motor nicht zu schwer und nicht zu umfangreich gebaut sein. Aus dem ersten Grunde muß ihm eine hohe Umdrehungszahl und aus dem letzteren eine außerordentlich gedrängte Anordnung aller Konstruktionsteile gegeben werden. Einen solchen Motor stehender Anordnung, der auf einem Mauersockel aufgestellt ist, zeigt Fig. 60; er kann selbstredend auch auf einem Wagengestell fahrbar angeordnet werden. Die Maschine ist allseitig geschlossen, so daß in das Triebwerk kein Staub gelangen kann.

Der Motor arbeitet im Viertakt und kann für den Betrieb mit Benzin, Petroleum, Benzol, Spiritus und Ergin eingerichtet werden. Bei dem Uebergang von einem Brennstoff zum anderen muß stets die

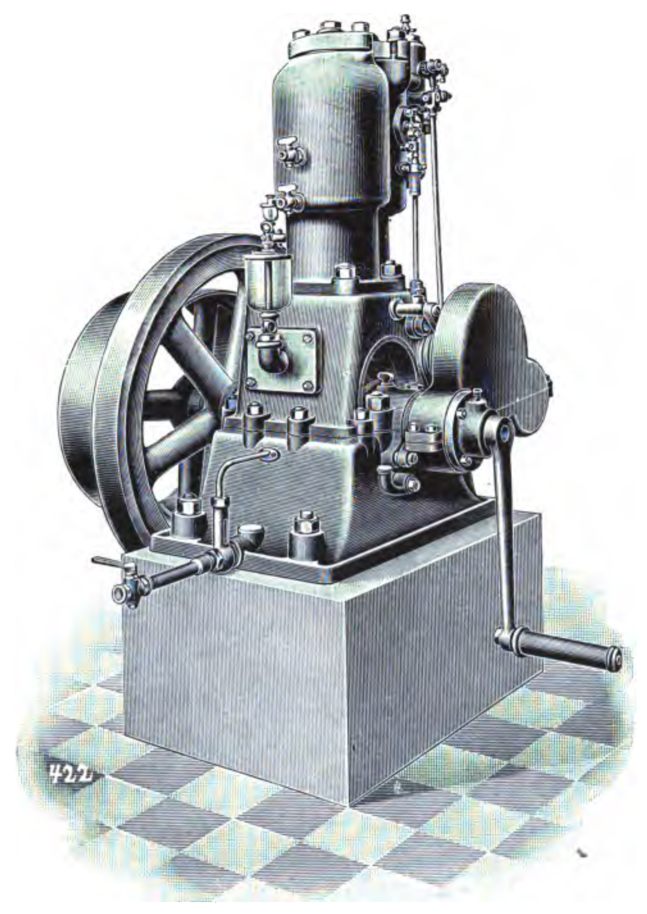


Fig. 60.

Brennstoffdüse und in einzelnen Fällen wegen der zu verändernden Kompression auch der Zylinderdeckel ausgewechselt werden, was leicht ausführbar ist.

In Fig. 61 ist der Motor (Modell 6) nochmals in der Ansicht und in den Fig. 62, 63 und 64 durchschnitten dargestellt. Die allgemeine Anordnung kann als bekannt vorausgesetzt werden. Während der Saugperiode wird das Einströmventil a Fig. 64 geöffnet, die angesaugte Luft streicht an der Brennstoffdüse b vorbei, durch die der flüssige Brennstoff in dünnen Strahlen in den Luftstrom gespritzt wird, so daß sich eine innige Mischung von Luft und Brennstoffnebel bildet. Der Düse b wird der Brennstoff von einem höher gelegenen Gefäß durch den Schimmerbehälter c zugeführt (vergl. Seite 127). Die Luft wird dem unteren Teile e des Maschinensockels (Fig. 62) entnommen und durch Rohr d zum Einströmventil geführt. Das Ausströmventil n und die magnetelektrische Zündvorrichtung werden durch Nocken m, und Rollenhebel O_2O von der Steuerwelle m betätigt, die der Kurbelachse parallel angeordnet ist und von dieser durch ineinander geschliffene Bronze-Vulkanfiber-Stirnräder mit der halben Umdrehungszahl angetrieben wird. Um die Umlaufzahl bei allen Belastungen gleich zu halten, werden durch einen Schwungkugel-Federregulator, der auf der Steuerwelle sitzt, die beiden hintereinander geschalteten Drosselklappen g und h (Fig. 64) verstellt, g läßt nur Luft und h das Luftbrennstoffgemisch durchtreten. Durch die Stellung der Drosselklappen zu einander und die Wahl des Hebelverhältnisses (Fig. 62) ist erreicht worden, daß stets eine der Belastung entsprechende Ladungsmenge in den Zylinder gesaugt wird und ihre Zusammensetzung die stets günstigste bleibt. Die Zündung erfolgt durch den Rollenhebel l_2, der von der Steuerwelle angetrieben wird; sie läßt sich bequem etwas früher oder später einstellen. Bis zu 8 PS werden diese Motoren als Einzylindermotoren, von 6–18 PS als Zwillingsmotoren und von 18—40 PS als Vierzylindermotoren gebaut.

Die Preise und Größen dieser Motoren gehen aus folgender Tabelle hervor.

Bauart:	Einzylindermotoren						Zwillingsmotoren				Vierzylindermotoren		
Zulässige Dauerleistung in PS eff.	1	2	3	4	6	8	6	8	12	18	18	25	40
Umdrehungszahl in der Minute	750	750	750	660	600	475	750	660	600	475	660	600	475
Preis des Motors ℳ	950	1150	1250	1500	1700	2200	2200	2800	3275	4000	5500	6500	8000

In Fig. 65 ist die Anordnung eines solchen Motors auf einem Wagengestell in Verbindung mit einer Dynamomaschine für Beleuch-

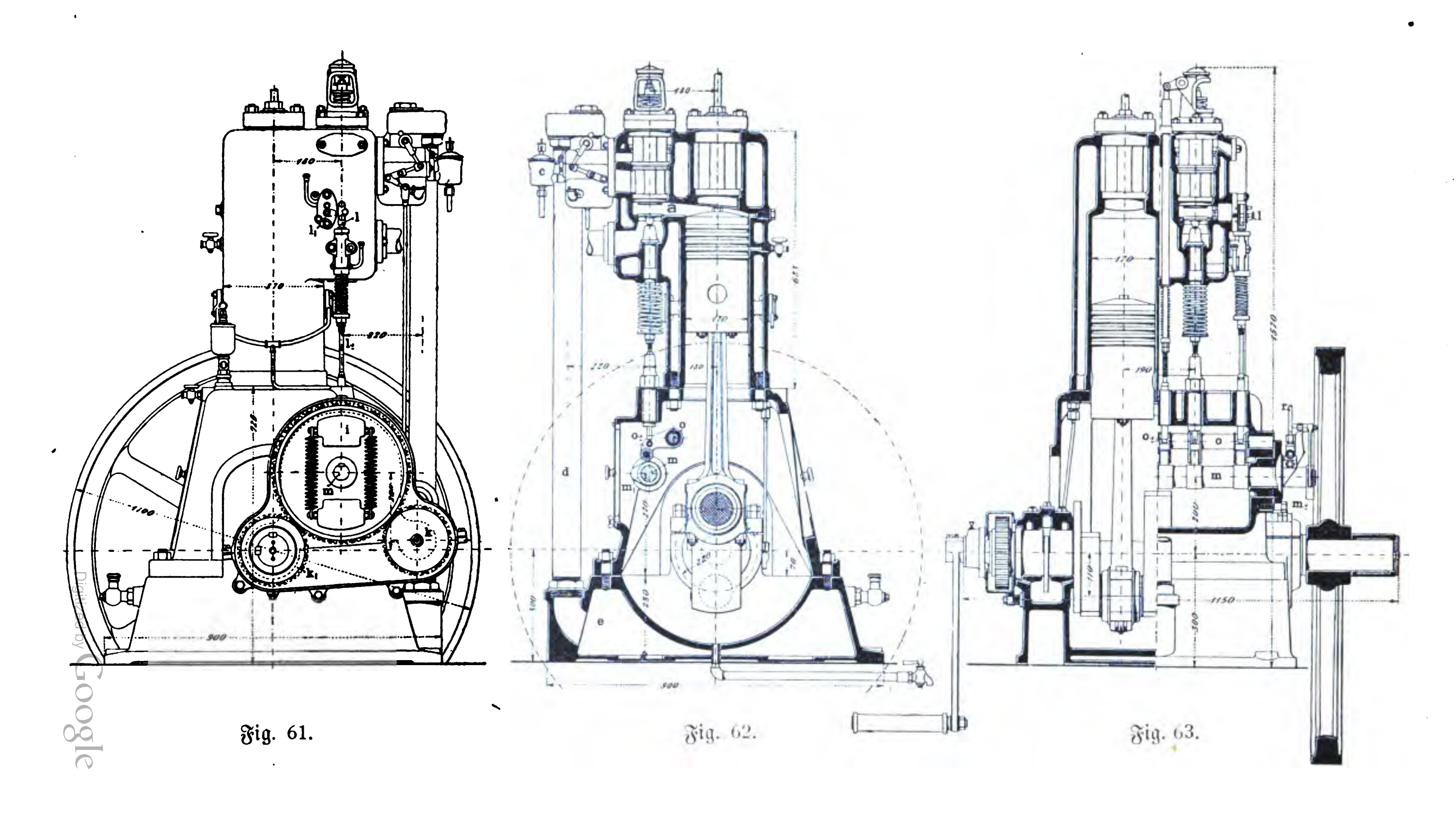


Fig. 61.   Fig. 62.   Fig. 63.

tungszwecke dargestellt. Etwas anders angeordnet findet er Verwendung als Antriebmaschine in Booten.

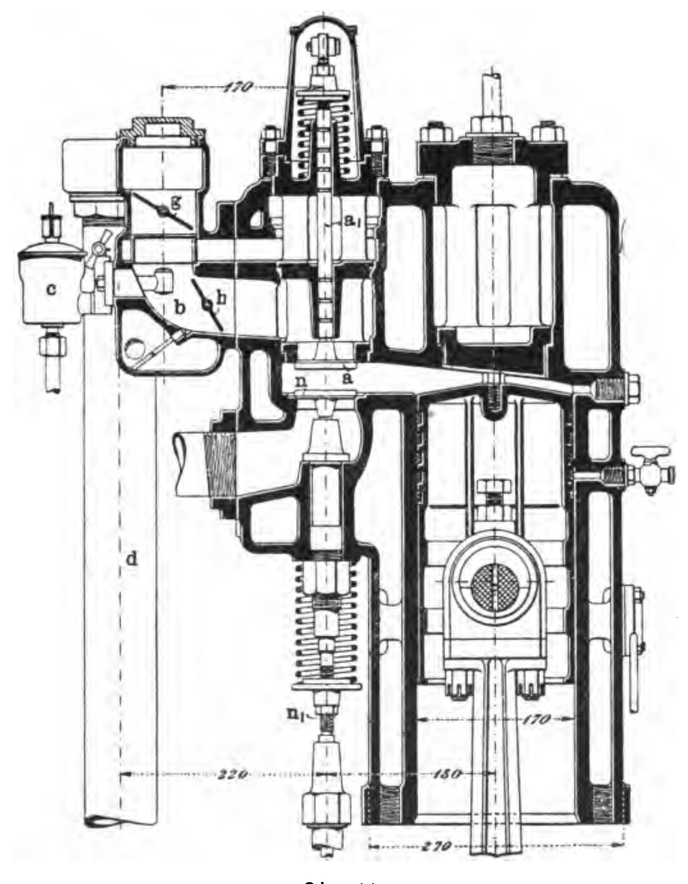


Fig. 64.

Der Motor Modell D_4 gleicht sehr dem Modell D_3 für Leuchtgas, so daß hier eine Beschreibung und Abbildung nicht mehr erforderlich erscheint.

Die Preise und Größen dieses Modells sind in folgender Tabelle enthalten.

Zulässige Dauerleistung in PS eff.	1	2	3	4	5
Umdrehungszahl in der Minute .	250	250	250	240	240
Preis des Motors . . . . *M*	1150	1500	1800	2150	2450

Die Betriebskosten lassen sich nach Maßgabe der Tabelle Seite 128 berechnen, sie weichen nicht wesentlich von den dort ermittelten ab.



Fig. 65.

2. Benz & Cie., Rheinische Gasmotorenfabrik A.-G., Mannheim.

Die Ausführung der Motoren für die flüssigen Brennstoffe gleicht so sehr derjenigen für Leuchtgas (Seite 92), daß hier eine weitere Beschreibung nicht erforderlich ist. Die Umdrehungszahl des Schwungrades ist dieselbe, der Preis des Motors in Klasse C wie bei den Leuchtgasmotoren, in Klasse F ist er um 50 *M* höher. Der Benzinverbrauch für die Pferdekraftstunde ist zwischen 0,30 und 0,25 kg bei voller Kraftausnutzung der F-Motoren und einem spezifischen Gewicht des Benzins von 0,7.

3. Gebrüder Körting, Aktiengesellschaft, Körtingsdorf bei Hannover.

Die Motoren für die flüssigen Brennstoffe sind wie diejenigen für Leuchtgas ausgeführt, nur haben sie an Stelle des Einströmventils einen Brennstoffzerstäuber, wie er in Fig. 66 dargestellt ist. Der Schnitt ist ebenso wie in Fig. 45, nur sind die einzelnen Teile, wie die Ventile, die Steuerung usw. fortgelassen. Das Benzin, Petroleum oder der Spiritus wird durch eine Rohrleitung von einem Vorratsbehälter, der etwa 2 m über dem Fußboden des Motorraumes angebracht ist, dem Zerstäuberventil zugeführt. Während der Saugperiode wird er dann von der Luft mitgerissen und zerstäubt. Das Ventil ist so konstruiert, daß stets die richtige Menge des Brennstoffes eingeführt wird. Es wirkt selbsttätig, also ohne Steuerung. Das Brennstoff-Luftgemisch tritt dann in den Kanal 20 und von hier in den Zylinder. Dieser Kanal ist mit einem Hohlraum 21 umgeben, der durch die Abgase von 22 aus geheizt werden kann, was für Petroleum stets geschehen muß.

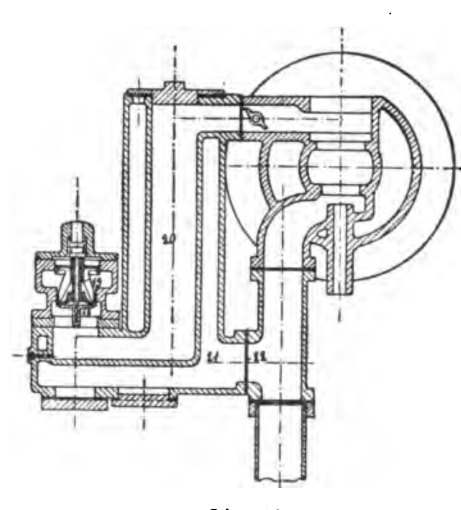


Fig. 66.

Die Motoren werden für Benzin bis 35 PS, für Benzol und Spiritus bis 50 PS und für Petroleum bis 10 PS gebaut. Bei größeren Leistungen verwendet man die Trinkler-Motoren (unter III 2).

Preise und Größe der Motoren für Benzin, Benzol, Spiritus und Petroleum sind aus folgender Tabelle ersichtlich.

Leistung in PS eff. .	2	3	4	6	8	10	12	14	16
Umdrehungszahl in der Minute . .	260	260	240	240	220	220	200	200	200
Preis des Motors ℳ	2200	2420	2860	3015	3755	3965	4655	5205	5635
Zuschlag für Außenlagerbock . . . ℳ	—	—	—	—	44	44	77	77	77

Außerdem baut die Firma noch den in Fig. 46 dargestellten Motor für flüssige Brennstoffe. Er muß zu diesem Zwecke mit Zerstäuber usw. ausgerüstet werden. Er wird viel in landwirtschaftlichen Betrieben verwendet.

Die Preise und Größen dieser Motoren sind in folgender Uebersicht enthalten.

Leistung des Motors in PS eff.	1	2	3	4	5	7	10
Preis für Benzin- und Benzol-Betrieb . . . M	960	1150	1370	1570	1800	2180	2800
Preis für Petroleum- und Spiritus-Betrieb . . M	1000	1190	1435	1650	1885	2270	2940

Für den Betrieb mit Benzin und Benzol werden kleine Spezialmaschinen gebaut für 1/2 PS zu 425 M und zu 1 PS für 615 M. Die Betriebskosten lassen sich nach dem Schema auf Seite 128 mit Hilfe der dortigen Angaben leicht ermitteln. Sie weichen nur unerheblich von den dort angegebenen ab.

4. Motorenfabrik Oberursel A. G., Oberursel bei Frankfurt a. M.

Die Firma baut ihre Motoren für flüssige Brennstoffe in derselben Weise wie diejenigen für Leuchtgas, nur muß noch ein Verdampfungs- oder Zerstäubungsapparat vor dem Einlaßventil angebracht werden. Sie hat besondere Ausführungsweisen für Benzin und Benzol und Petroleum (Solaröl). Die Preise und Größen weichen nicht von einander ab.

Leistung des Motors PS eff.	2	3	4	5	6	8	10	12	15	20
Umdrehungszahl in der Minute	360	360	350	300	300	290	280	270	260	250
Preis des Motors . M	1500	1850	2150	2375	2675	3300	3750	4300	4850	6150

Mit großem Eifer hat sich die Firma auf die Ausbildung von fahrbaren Maschinen gelegt und darin Hervorragendes geleistet. Ihre Universallokomobilen mit Präzisionssteuerung haben eine weite Verbreitung gefunden. Fig. 67 zeigt eine solche Anordnung. Die Preise sind:

Leistung des Motors PS eff. .	6	8	10	12	15	18	22	30
Preis der Lokomobile, betriebsfertig . . . . M	4300	4800	5200	5600	6200	6800	7400	8200

Andere Ausführungsweisen sind etwas billiger oder teurer. Die Maschinenprüfungsstelle der Landwirtschaftskammer für die Provinz Brandenburg hat einen Universalmotor geprüft und dabei für reinen

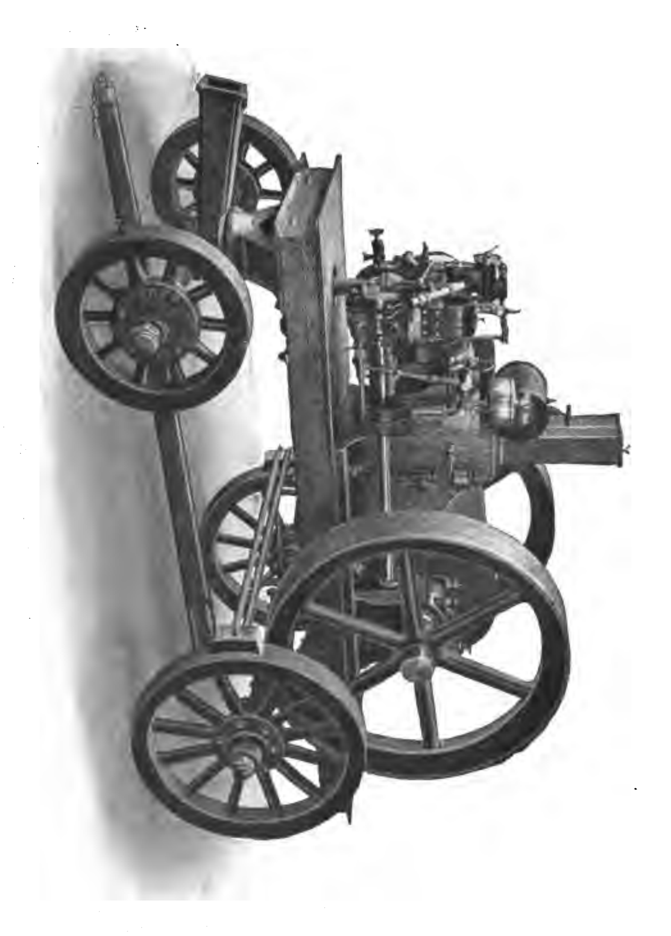


Fig. 67.

Motor-Spiritus eine höchste Dauerleistung von 21,96 PS und für Benzin von 17,5 PS gefunden. Die folgende Tabelle gibt den Brennstoffverbrauch für eine Pferdekraftstunde in g an.

Leistung in PS	Spiritus	90% Spiritus 10% Benzol	70% Spiritus 30% Benzol	50% Spiritus 50% Benzol	90% Spiritus 10% Ergin	75% Spiritus 25% Ergin	50% Spiritus 50% Ergin
20,0	376	326	295	259	340	309	279
16,0	389	343	309	274	355	322	288
10,0	432	400	360	320	412	364	348

Man erkennt hieraus deutlich, wie der Brennstoffverbrauch mit dem Zusatz von Benzol oder Ergin zum Spiritus erheblich sinkt. Lokomotiven für Waldbahnen, Rangierbetrieb, Erzbahnen, Ziegeleibetrieb, Fabrikbetrieb usw. werden in zweckmäßiger Weise von der Firma geliefert. Nähere Mitteilungen wird sie auf Anfrage gern machen.

Der Berechnung der Betriebskosten erfolgt nach Muster Seite 128 und bietet keine Schwierigkeiten.

5. Aktien-Gesellschaft Dresdener Gasmotoren-Fabrik vorm. Moritz Hille, Dresden-A.

In Fig. 68 ist die Ansicht eines Motors wiedergegeben. Man erkennt daraus, daß eine seitliche Steuerwelle nicht vorhanden ist. Die Steuerung der Ventile geschieht von einer Stange aus mittels Hebel in einfacher Weise. Ein- und Auslaßventil sind übereinander angeordnet, die magnetelektrische Zündung findet in der Mitte zwischen ihnen statt.

Dieser Motor wird für Benzin in folgenden Größen gebaut:

Leistung des Motors in PS eff.	2	4	5	6	8	10	12	16	20
Umdrehungszahl in d. Minute	270	260	250	250	240	230	230	230	230
Preis des Motors . . M	1400	1750	2100	2450	2850	3250	3750	4200	4750

Die Motoren für Spiritus und Ergin sind ebenso konstruiert und kosten 50—100 M mehr bei derselben Umdrehungszahl. Diejenigen mit noch niedrigerer Umdrehungszahl sind etwas teurer.

Leistung des Motors in PS eff.	1	2	3	4	5	6	8	10	
Umdrehungszahl in d. Minute	220	220	210	200	180	180	180	180	usw.
Preis des Motors . . M	1400	1700	2100	2450	2850	3250	3650	4200	

Diese können auch ohne Umänderung mit Benzin oder Benzol betrieben werden und nach Umwechselung eines Ventils mit Gas.

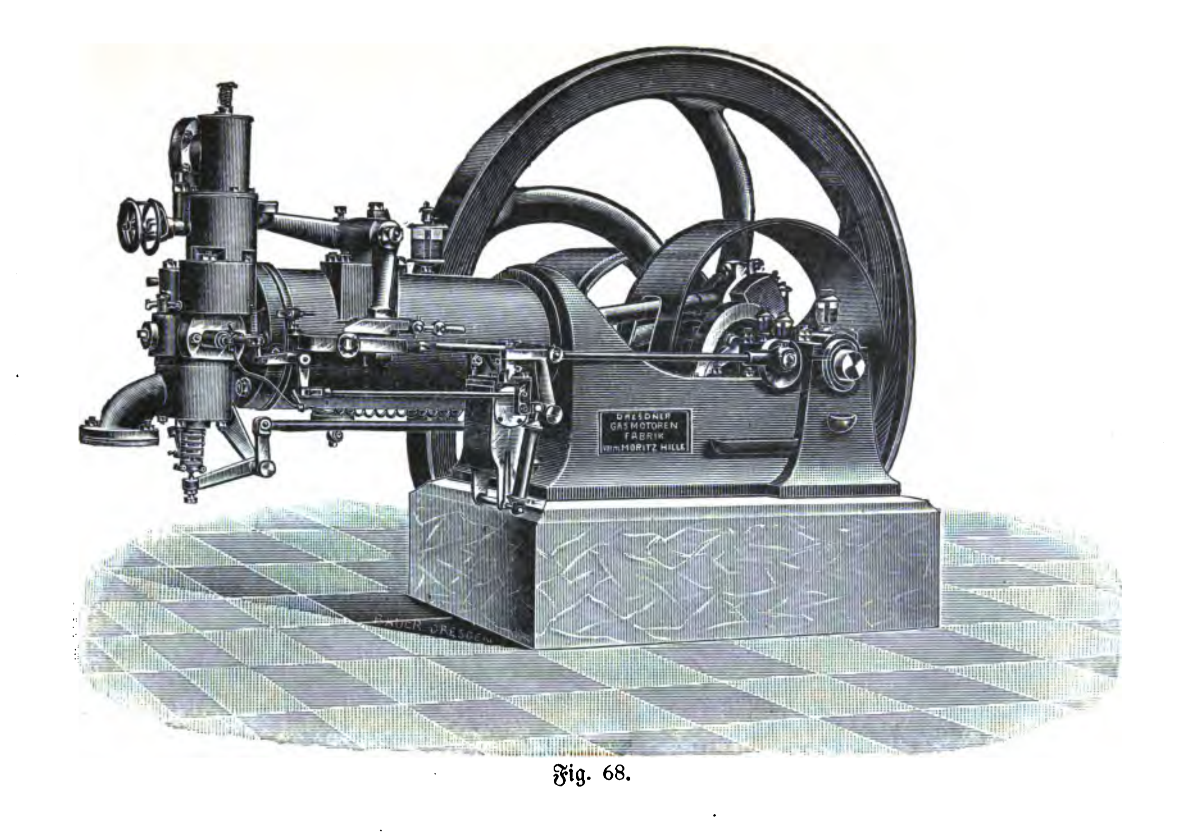


Fig. 68.

Besonderer Wert wird auf den Bau fahrbarer Motoren gelegt, die wiederholt auf landwirtschaftlichen Ausstellungen geprüft und ausgezeichnet wurden.

Die Betriebskosten weichen nicht erheblich von den auf Seite 128 angegebenen ab.

6. Scheben & Krudewig, G. m. b. H., Hennef (Sieg), Gasmotorenfabrik

bauen die Motoren für flüssige Brennstoffe in derselben Weise wie ihre Gasmotoren für 3 verschiedene Umdrehungszahlen. Die Preise sind um 150 bis 200 ℳ höher als diejenigen der gleich schnelllaufenden Gasmotoren.

Für kleine Leistungen wird von ihnen ein 1 PS Benzinmotor (Fig. 69) stehender Anordnung geliefert, der 375—400 Umdrehungen macht. Er ist mit Pendelsteuerung versehen, die auf verschiedene Umdrehungszahlen eingestellt werden kann. Die Zündung erfolgt durch einen rotierenden Magnetapparat, der Preis ist 650 ℳ. Fundamentschrauben und Rohrleitung kosten noch etwa 25 ℳ. Der Motor kommt fertig zum Versand, so daß nur noch das Kühlgefäß oder die Wasserleitung anzuschließen und das Auspuffrohr nach außen zu leiten ist.

Die Betriebskosten berechnen sich nach den Angaben auf Seite 128.

Die übrigen Firmen bauen die Motoren für flüssige Brennstoffe in ähnlicher Weise wie die Gasmotoren, so daß sie hier nicht noch besonders aufgeführt zu werden brauchen.

III. Einspritzmotoren.

a) Dieselmotor.

Nachdem man erkannt hatte, daß durch die Wärme, welche bei der Verbrennung erzeugt wird, den Verbrennungsgasen eine hohe Spannung verliehen werden kann, die sich in einem Motor nutzbringend verwerten läßt und daß der wirtschaftliche Wirkungsgrad dieser Motoren besser ist als derjenige der Dampfmaschinen mit Kessel, lag der Gedanke nahe, eine Maschine zu konstruieren, in welcher die bei der Verbrennung der Steinkohle erzeugte Wärme direkt in Arbeit umgesetzt werden kann. Die vom Verfasser in dieser Hinsicht in den Jahren 1896 und 1897 auf dem Lüneburger Eisenwerke mit mangelhaften Einrichtungen angestellten Versuche haben dargetan, daß die Kohle für eine Methode, wie sie in der Patentschrift Nr. 96374 angegeben ist, zu langsam verbrennt.

Im Jahre 1897 wurde eine neue Wärmekraftmaschine einer Anzahl von Fachleuten gezeigt, die den Namen Dieselmotor trug. Sie wurde mit Petroleum betrieben und gebrauchte für die Nutzpferdekraftstunde nur 0,2 kg, während die übrigen Verbrennungsmotoren 0,36 kg, also beinahe das doppelte Quantum verbrauchten. Diese vorzügliche Wärmeausnutzung erregte allgemein Aufsehen. Sie ist dadurch erreicht, daß der im Viertakt arbeitende Motor nur Luft ansaugt und sie so stark komprimiert, daß die dadurch erzeugte Temperatur höher ist, als die Verbrennungstemperatur des Brennstoffes. Am Ende der Kompressionsperiode wird dann der flüssige Brennstoff in die heiße Luft gespritzt, in der er verbrennt. Die dadurch erzeugte Wärme dehnt die Verbrennungsgase aus, die dann direkt wirkend und expandierend den Kolben treiben. Der Dieselmotor hat deshalb keine Zündvorrichtung und keine Explosion wie bei den Gasmotoren. Seine Arbeitsweise zeigt das Diagram Fig. 70. Während der Saugeperiode a b ist hinter dem Kolben ein Druck vorhanden, der demjenigen der atmosphärischen Luft gleich ist. Bei dem Rückwärtsgang des Kolbens tritt dann in b die Kompression ein, die bei c eine Höhe bis zu 36 Atm. erreicht. In c tritt der Brennstoff hinzu Man ersieht aus dem Diagramm, daß bei der Arbeitsperiode auf dem Wege von c nach d beinahe derselbe Druck hinter dem Kolben war und daß von d bis e die Gase expandierten. In e beginnt der Auspuff, der durch die Linie e a dargestellt wird.



Fig. 69.

Diese Motoren haben den großen Vorteil, daß in ihnen die schwer entzündlichen Brennstoffe wie Rohöl, Solaröl, Gelböl, Rotöl, Gasöl usw., die niedrig im Preise stehen, mit gleichem Erfolg und mit gleicher Sicherheit wie Benzin, Benzol usw. in den schon besprochenen Motoren und in gleicher Menge für die Nutzeinheit verwendet werden können.

Der Dieselmotor wird in Deutschland von der Maschinenfabrik Augsburg und von der Gasmotorenfabrik Deutz in Cöln-Deutz gebaut, in letzterer in Größen von 20 bis 100 PS. Fig. 71 zeigt das Bild eines solchen Dieselmotors. Ein kräftiges zweibeiniges Gestell ist oben zu einem Zylinder ausgebildet, dem äußeren Kühlmantel, in dem in bekannter Weise der Arbeitszylinder eingesetzt ist. Die Kurbelwelle ist unten in einer kräftigen Fußplatte gelagert und trägt das Schwungrad und die Antriebscheibe für den Riemen. Von der Kurbelwelle wird eine stehende Welle angetrieben, die der in der Nähe des Zylinderkopfes horizontal angeordneten Steuerwelle die halbe Umdrehungszahl des Schwungrades erteilt. Auf dem Zylinderdeckel sind das Lufteinlaßventil (Saugventil), das Einspritzventil (Brennstoffventil), das Auspuffventil und das Anlaßventil in besonderen Gehäusen leicht zugänglich

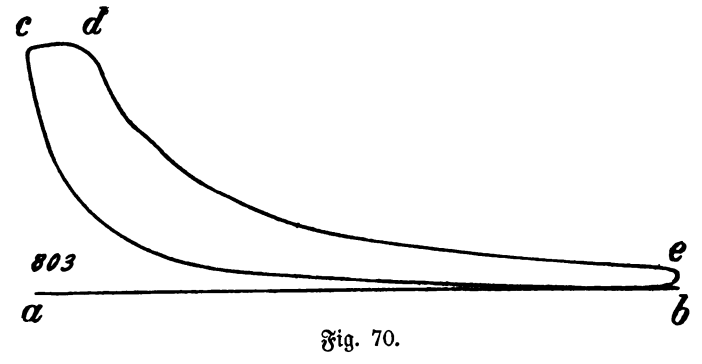


Fig. 70.

angeordnet. Das Öffnen der Ventile geschieht von der Steuerwelle aus durch Nocken und Hebelübersetzung in bekannter Weise, das Schließen durch Federdruck.

Da im Momente der höchsten Kompression die Flüssigkeit eingespritzt wird, so muß ihr ein noch höherer Druck erteilt werden. Fig. 72 zeigt die gesamte Anordnung eines Dieselmotors.*) A ist das Auspuffventil, B das Brennstoffventil, hinter ihm liegt das Einsaugventil in derselben Weise angeordnet wie vor ihm A. D ist das Anlaßventil. Von der Kurbelwelle aus wird leicht zugänglich eine Luftpumpe L angetrieben, die die Luft stark zusammengepreßt in das Einblasegefäß EG und die Anlaßgefäße AG bringt, so daß diese stets mit hoch-

*) Man vergleiche hiermit den Güldnermotor (Schnitte) Seite 104 u. 105.

gespannter Luft gefüllt sind. Die Steuerwelle treibt eine kleine Brennstoffpumpe P an. Der in dem Brennstoffbehälter F vorhandene Brennstoff wird filtriert und einem kleinen Schwimmerapparat zugeführt, von dem ihn die Pumpe P ansaugt und vor das Brennstoffventil B drückt. Am Ende der Kompressionsperiode tritt aus dem Gefäß EG

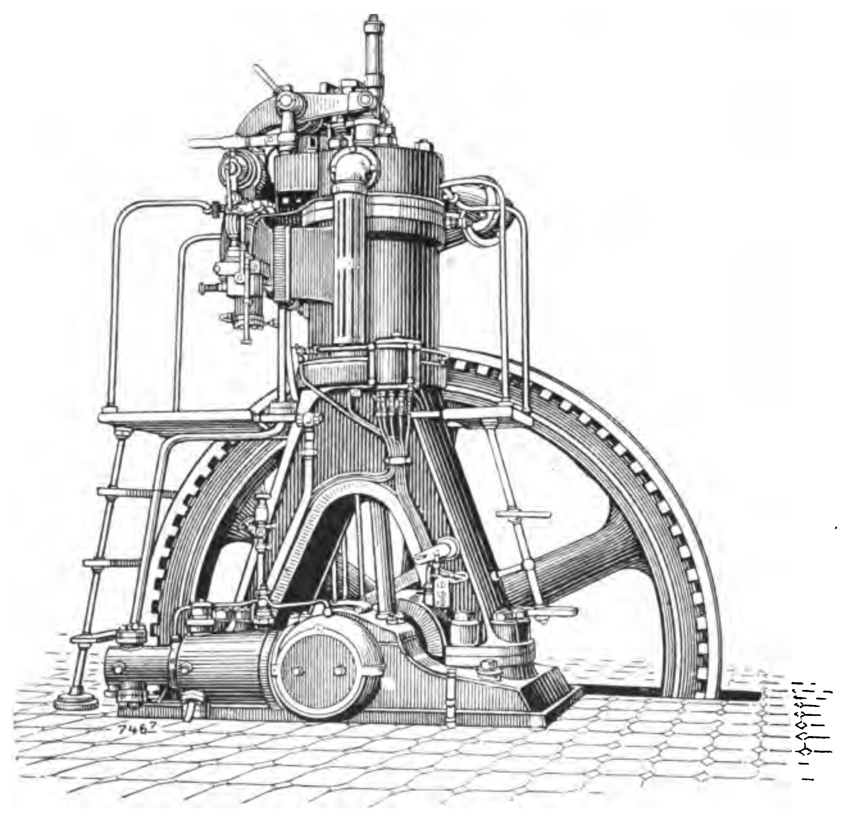


Fig. 71.

hochgespannte Luft zu dem Ventil B, reißt den dort angesammelten Brennstoff fort und schleudert ihn durch eine Anzahl von Platten mit gegeneinander versetzten Löchern, so daß er fein zerstäubt in den Arbeitszylinder gelangt. Die Regelung der Umdrehungszahl geschieht durch einen Regulator, der den Drehpunkt des Hebels in ähnlicher Weise verlegt, wie Seite 76 bei dem Gasmotor angegeben wurde, er

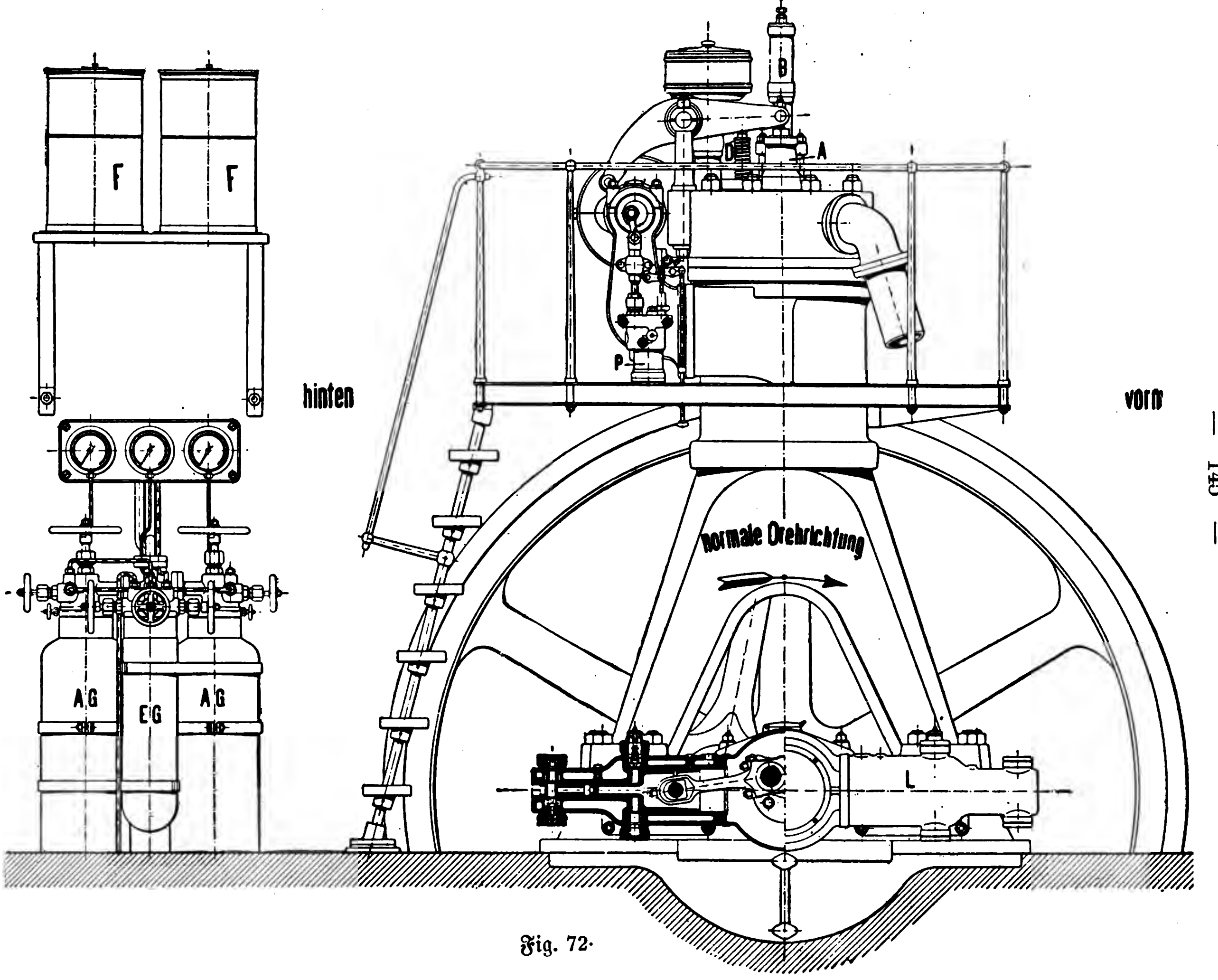


Fig. 72.

verändert also den Hub des Ventils. Das Anlassen geschieht mittels Druckluft und entsprechender Stellung der Nocken.

Der Dieselmotor wird ein- und zweizylindrig gebaut (Preise und Größe der Gasmotorenfabrik Deutz) und zwar

einzylindrig

Leistung des Motors PS	20	25	30	35	40	50	60	70	100	200
Umdrehungszahl	190	230	180	210	180	180	170	160	160	140
Preis (netto) . . . ℳ	9700	10800	12000	13200	14600	17000	19500	22000	29500	56000

zweizylindrig

Leistung des Motors PS	40	50	60	70	100	140	160	200	300	400
Umdrehungszahl	190	230	180	210	180	160	160	160	150	140
Preis (netto) . . . ℳ	17000	19000	21300	23600	30500	40000	45000	54500	76000	106000

Die Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg A.-G. baut ihn schon in Größen von 8, 10, 12, 15, 20 und mehr PS.

In der folgenden Tabelle sind die Betriebskosten ermittelt.

Anlage- und Betriebskosten für einzylindrige Dieselmotoren.

Ausführungsweise: Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg A.-G.

Zulässige Dauerleistung PS eff.	8	10	12	15	20	25
Umdrehungszahl in der Minute	270	255	250	235	215	205
I. Anlagekosten.						
Preis des Motors . . . ℳ	5 000	5 700	6 700	8 700	9 700	10 800
*Nebenkosten 25% . . . „	1 250	1 425	1 675	2 175	2 425	2 700
Gesamtanlagekosten ℳ	6 250	7 125	8 375	10 875	12 125	13 500
****Brennstoffverbrauch für 1 PS eff. in 1 Stunde.**						
Paraffinöl 100 kg 10 ℳ; Petroleum 100 „ 20 „; Ergin 100 „ 17 „ — g	235	230	220	215	210	205
II. Betriebskosten. 3000 Betriebsstunden. Normale Leistung.						
1. Amortisation, Verzinsung, Instandhaltung 12½% ℳ	781	891	1 047	1 359	1 516	1 688
2. Bedienung . . . . . . „	180	180	180	200	200	200
3. Schmieröl, Putzwolle ꝛc. „	120	130	140	160	180	200
zusammen ℳ	1 081	1 201	1 367	1 719	1 896	2 088

*) Hierin sind enthalten die Kosten für das Fundament, die Rohrleitung, soweit sie nicht schon im Motorpreis enthalten ist, Kühlgefäß und Aufstellung.

**) Der Verbrauch ist angegeben für Brennstoffe, von denen 1 kg beim Verbrennen mindestens 10 000 Wärmeeinheiten entwickelt.

Jährliche Brennstoffkosten.

Paraffinöl	ℳ	564	690	792	968	1 260	1 538
Petroleum	„	1 128	1 380	1 584	1 936	2 520	3 076
Ergin	„	959	1 173	1 346	1 645	2 142	2 614

Jährliche Betriebskosten.

Paraffinöl	ℳ	1 645	1 891	2 159	2 687	3 156	3 626
Petroleum	„	2 209	2 581	2 951	3 655	4 416	5 164
Ergin	„	2 040	2 374	2 713	3 364	4 038	4 702

Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde.

Paraffinöl	₰	6,9	6,3	6,0	6,0	5,3	4,8
Petroleum	„	9,2	8,6	8,2	8,1	7,4	6,9
Ergin	„	8,5	7,9	7,5	7,4	6,7	6,3

III. Betriebskosten. 1000 Betriebsstunden.
Normale Leistung.

1. Amortisation 2c.	ℳ	781	891	1 047	1 359	1 516	1 688
2. Bedienung	„	90	90	90	100	100	100
3. Schmieröl 2c. 40% von II. 3. . .	„	48	52	56	64	72	80
zusammen	ℳ	919	1 033	1 193	1 523	1 688	1 868

Jährliche Brennstoffkosten.

Paraffinöl	ℳ	188	230	264	323	420	513
Petroleum	„	376	460	528	646	840	1 026
Ergin	„	320	391	449	548	714	871

Jährliche Betriebskosten.

Paraffinöl	ℳ	1 107	1 263	1 457	1 846	2 108	2 381
Petroleum	„	1 295	1 493	1 721	2 169	2 528	2 894
Ergin	„	1 239	1 424	1 642	2 071	2 402	2 739

Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde.

Paraffinöl	₰	13,8	12,6	12,1	12,3	10,5	9,5
Petroleum	„	16,2	14,9	14,3	14,5	12,6	11,6
Ergin	„	15,2	14,2	13,7	13,8	12,0	11,0

b) Trinklermotor.

Außer dem Dieselmotor sind noch zwei andere Einspritzmotoren auf dem Markt erschienen, der Haselwandermotor, der von der Motorfabrik Rastatt, und der Trinklermotor, der von Gebr. Körting, Aktien-Gesellschaft zu Körtingsdorf bei Hannover gebaut wird. Alle haben sie gemeinsam, daß sie im Viertakt arbeiten und bei der Saugperiode nur atmosphärische Luft ansaugen, diese stark komprimieren und dann

den Brennstoff einführen. In der Art und Weise, wie dies geschieht, unterscheiden sie sich. Diesel verwendet eine Pumpe außerhalb des Motors, um Luft höher zu komprimieren, als der Enddruck bei der Kompression im Zylinder beträgt und mittels eines gesteuerten Einlaßventils in den Arbeitszylinder zu bringen. Haselwander will durch einen Ansatz am Kolben, der genau in eine Bohrung des Zylinderdeckels paßt, in dieser bei der Kompression einen höheren Druck erzeugen als im Zylinder herrscht und dadurch den Brennstoff in den Arbeitszylinder befördern. Bei ihm fehlt das gesteuerte Einlaßventil, so daß er den Moment des Einspritzens und der Zündung nicht in seiner Gewalt hat; es können deshalb Früh- oder Spätzündungen eintreten, ohne daß man in der Lage wäre das abzustellen. Einen mittleren Weg schlägt Trinkler ein, er stellt den Überdruck automatisch her, betätigt aber ein besonderes Einlaßventil. In Fig. 73 ist ein von Gebr. Körting gebauter Trinklermotor in der Ansicht dargestellt, Fig. 74 zeigt ihn im Schnitt und Fig. 75 den am meisten interessierenden Zylinderkopf. In dieser Figur bezeichnet A den Arbeitszylinder und C den Einspritzkolben, der in einem besonderen Gehäuse angeordnet ist. Er ist als Differentialkolben ausgebildet und erzeugt die höhere Luftpressung zum Einspritzen des Brennstoffes. Der Kolben ist nach außen hindurch geführt und durch Blei abgedichtet. Am Ende hat er eine Schleife, in welche die Rolle eines Hebels hineinpaßt, der um eine Achse drehbar ist und durch einen Klinkhebel und Daumen auf einer quer vor dem Zylinderkopf liegenden Steuerwelle O betätigt wird. Wenn der Kolben A während der Kompressionsperiode zurückgeht und die vor ihm befindliche Luft komprimiert, so tritt diese auch durch den kleinen Kanal E hinter den Kolben bei D und durch ein kleines Rohr G in den Kanal, der bei H mündet, wo die Einspritzdüse F eingeschraubt ist. Es herrscht zunächst überall derselbe Druck, weil der Kolben C noch durch den Klinkhebel in seiner Stellung festgehalten wird. Wenn nun der Einspritznocken die Rolle des Klinkhebels herunterdrückt und die Klinke freigibt, so kommt der hohe Druck gegen die verschieden großen Flächen des Kolbens C zur Geltung (die eine Fläche kommt ganz zur Wirkung, die andere nur mit dem Unterschiede des Kolben- und Stangenquerschnittes) und treibt diesen schnell heraus, dabei entsteht bei D ein viel höherer Druck als im Arbeitszylinder, dieser pflanzt sich bis zur Einspritzdüse fort und spritzt den dort gelagerten

Brennstoff in den Zylinder hinein, wo er verbrennt. Ein zweiter Nocken drückt dann den Hebel und Kolben C in seine Endstellung zurück, wo er nunmehr verharrt, bis eine neue Ausklinkung

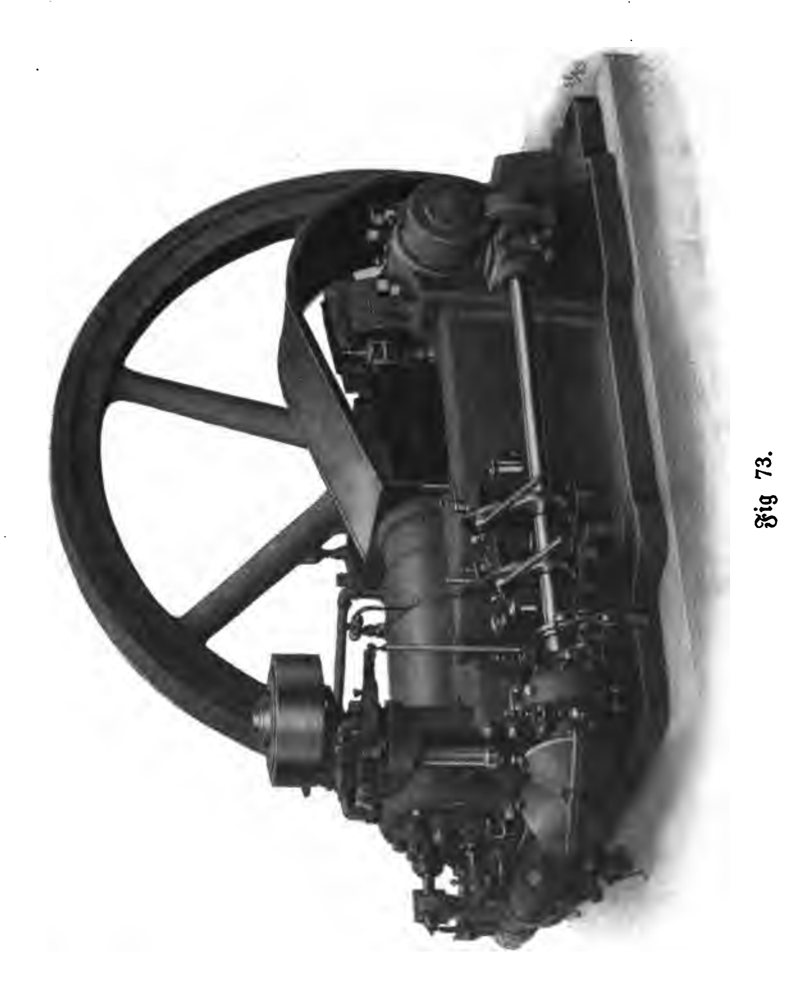


Fig 73.

erfolgt. Es fragt sich nun, wie wird der Brennstoff zur Einspritzdüse gebracht? Auf der Seite des Motors, auf welcher die Steuerwelle sich befindet, ist eine kleine Saug- und Druckpumpe vorhanden, die durch

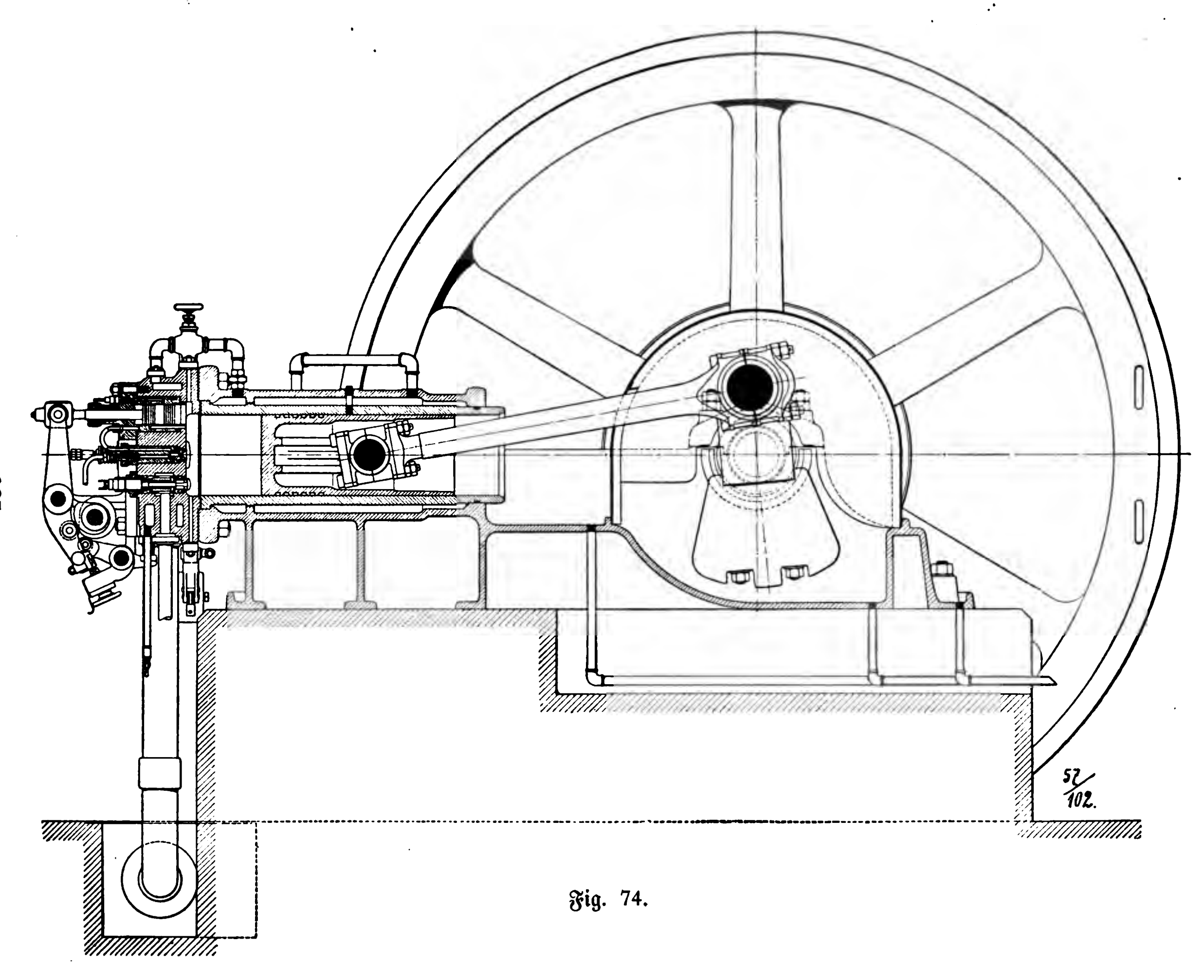


Fig. 74.

einen vom Regulator verstellbaren Nocken angetrieben wird. Diese Pumpe führt den Brennstoff durch das Rohr K und das Rückschlagventil J bis vor die Einspritzdüse. Bei zu großer Umdrehungszahl wird der Pumpenhub verringert und umgekehrt. Die Pumpe kann durch einen Hebel auf vollen, halben und keinen Hub gestellt werden. Letzteres ist für das Anlassen nötig, das durch Luftdruck mittels eines

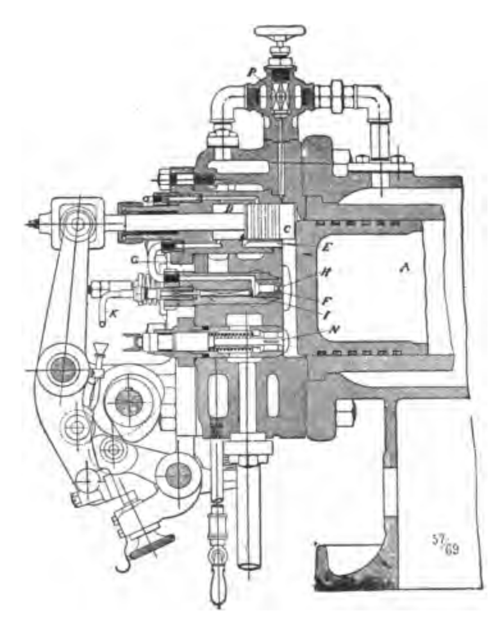


Fig. 75.

Anlaßventils N erfolgt. Der Motor ist noch mit einem Ladeventil versehen, das seitlich angebracht ist. Da sich während des Betriebes des Motors im Innern schmutziges Öl und Verbrennungsrückstände sammeln, so ist noch ein Auslaßventil angeordnet, das eine Reinigung während des Betriebes gestattet. Das Einlaßventil für die Luft beim Ansaugen sitzt links vom Einspritzventil und das Ausblasventil rechts davon, beide werden gesteuert (vergl. Fig. 73).

Anlage- und Betriebskosten des Trinklermotors.

Ausführung: Gebr. Körting, Aktien-Gesellschaft, Körtingsdorf bei Hannover.

Zulässige Dauerleistung PS eff.	12	15	20 usw.
I. Anlagekosten.			
Preis des Motors einschl. Rohrleitung und Aufstellung ℳ	7500	10 000	11 000
Nebenkosten (Fundament) 10%	750	1 000	1 100
Gesamtanlagekosten ℳ	8250	11 000	12 100
Brennstoffverbrauch für 1 PS eff. in 1 Stunde. 1 kg = 10000 WE.			
Paraffinöl 100 kg 10 ℳ, Petroleum 100 „ 20 „, Ergin 100 „ 17 „ — g	220	215	210
II. Betriebskosten. 3000 Betriebsstunden. Normale Leistung.			
1. Amortisation, Verzinsung, Instandhaltung 12½ % ℳ	1031	1375	1513
2. Bedienung . . . . . . „	180	200	200
3. Schmieröl, Putzwolle zc. „	140	160	180
zusammen ℳ	1351	1735	1893
Jährliche Brennstoffkosten.			
Paraffinöl . . . . ℳ	792	968	1260
Petroleum . . . . „	1584	1936	2520
Ergin . . . . „	1346	1645	2142
Jährliche Betriebskosten.			
Paraffinöl . . . . ℳ	2143	2703	3153
Petroleum . . . . „	2935	3671	4413
Ergin . . . . „	2697	3380	4035
Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde.			
Paraffinöl . . . . ₰	6,0	6,0	5,3
Petroleum . . . . „	8,2	8,1	7,4
Ergin . . . . „	7,5	7,4	6,7

III. Betriebskosten. 1000 Betriebsstunden. Normale Leistung.

Fast genau wie beim Dieselmotor.

c) Feste Brennstoffe.

§ 12.

Sauggasmotoren.

I. Allgemeines.

Wenn, ganz allgemein gesagt, der Gasmotor trotz seiner zweckmäßigen Konstruktion noch nicht die Verbreitung fand, die man hätte erwarten dürfen, so ist es darauf zurückzuführen, daß er nur an solchen Stellen aufgestellt werden kann, an denen Leuchtgas zur Verfügung steht. An vielen kleinen Orten ist das nicht der Fall. Deshalb suchte man die Petroleum-, Benzin- ꝛc. Motoren besonders auszubilden, namentlich kamen hierfür auch landwirtschaftliche Interessen in Frage, wie die Petroleummotorenkonkurrenz in Berlin 1894 deutlich dartut.

Im Anfange der 80er Jahre soll E. Dowson die erste Halbwasser- oder Kraftgasanlage gebaut haben. Die Darstellung des Gases geschieht in der Weise, daß fortwährend Luft und Wasserdampf in geringen Mengen in eine glühende Kohlenschicht, die sich in einem geschlossenen Behälter befindet, hineingeblasen werden; es verbindet sich dann der Sauerstoff der Luft mit der Kohle zu Kohlenoxyd, während das Wasser in der Glut in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt wird, von denen der Wasserstoff keine Verbindung eingeht, während der Sauerstoff sich wieder mit der Kohle zu Kohlenoxyd verbindet. Das so gebildete Gas besteht also aus Kohlenoxyd, Wasserstoff und dem von der Luft übrig gebliebenen Stickstoff. Infolge dieser Zusammensetzung verbrennt es mit nichtleuchtender Flamme und eignet sich nicht für Beleuchtungszwecke, wohl aber für Heizung und Krafterzeugung. Bei der Verbrennung von Kohle wird Wärme erzeugt, wie schon Seite 30 ausgeführt wurde; bei der Trennung des Wassers in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff wird genau so viel Wärme verbraucht, als bei der Verbindung von Wasserstoff- und Sauerstoffgas erzeugt wurde. Es ist daher möglich, die Luft- und Wasserdampfzufuhr so zu regeln, daß ebensoviel Wärme durch Verbrennung von Kohle zu Kohlenoxyd erzeugt wird, als Wärme zur Zersetzung des Wasserdampfes und zum Ersatz des Wärmeverlustes durch Ausstrahlung verloren geht; dann befindet sich der Apparat zur Kraftgaserzeugung (Generator) im Beharrungszustand.

Das so erzeugte Kraftgas bedarf noch der Reinigung im Skrubber und Wäscher, bevor es zum Betriebe von Gasmotoren

geeignet ist. Zur Erzeugung des erforderlichen Wasserdampfes wurde anfangs ein Dampfkessel benutzt, der einen Dampftrockner über der Feuerbüchse hatte. Mit diesem war der Generator so durch ein Rohr verbunden, daß unter dem Rost Wasserdampf und Luft eingeblasen werden konnten, die durch die glühende Kohlenmasse (Anthracit, Koks) hindurchstrichen und dabei Kraftgas bildeten. Durch ein Rohr oben am Generator wurde Brennstoff nach Bedarf nachgefüllt. Aus dem Generator wurden die Gase durch die Wasservorlage in den Skrubber geleitet, der mit Koksstückchen gefüllt war und mit Wasser berieselt wurde. Von dem Skrubber gingen die Gase durch den Wäscher in den Gasbehälter.

Das so erzeugte Kraftgas besteht aus etwa 23 % CO (Kohlenoxydgas), 17 % H (Wasserstoff), 2 % CH_4 (Methan), 6 % CO_2 (Kohlensäure) und 52 % N (Stickstoff). 1 cbm dieses Gases liefert beim Verbrennen etwa 1300 WE, während 1 cbm Leuchtgas 4879 WE oder rund 5000 WE gab (vergl. Seite 59), also fast 4 mal so viel.

Dieses Gas kann der Kleingewerbetreibende nicht verwenden, weil die Anlage zu teuer ist und sich deshalb nur für größere Kräfte eignet.

Es wurde daher versucht, einen Gaserzeuger so herzustellen, daß Dampfkessel und Gasometer überflüssig sind und die Reinigung erheblich vereinfacht wird.

Die ersten Versuche, die Leon & E. Benier 1891 in dieser Hinsicht mit einem Zweitaktgasmotor machten, fielen ungünstig aus. Erst als Benier & Taylor 1898 einen Viertaktmotor verwandten, erzielten sie gute Resultate. Jetzt sind die Apparate so weit vervollkommnet, daß sie mit gutem Erfolge auch im Kleinbetriebe verwendet werden können. Ihr Wesen beruht darauf, daß der Gasmotor während der Saugperiode in dem Zylinder ein Vakuum schafft, das sich rückwärts durch die Gasreiniger bis zum Generator und durch dessen Inhalt fortsetzt, so daß atmosphärische Luft und Wasserdunst unter den Rost eintreten und in dem Generator neues Gas bilden. Der Sauggasmotor arbeitet genau wie der Gasmotor. Bei der Verwendung von Steinkohlen als Brennmaterial entsteht ein sehr teerhaltiges Gas, das die Apparate und den Motor stark verschmutzt und keinen ordentlichen Betrieb zuläßt. Es konnte deshalb als Brennmaterial nur Anthracit oder Koks verwendet werden. Später

gelang es, Generatoren für Braunkohlenbriketts zu konstruieren und jetzt kann man sogar Holz und Torf als Brennmaterial verwenden.

Die Sauggasmotoren haben den Vorteil vor den Leuchtgasmotoren, daß sie überall aufgestellt werden können, weil sie sozusagen eine Gasanstalt für sich haben.

Wie hoch stellen sich nun die Betriebskosten? 1 kg Anthracit liefert bei der Verbrennung 8000 WE. Bei der Vergasung entstehen etwa 4,5 cbm Kraftgas von je 1300 WE, im ganzen also $4{,}5 \cdot 1300 = 6000$ WE; es gehen also 2000 WE im Vergasungsapparat verloren; demnach ist der wirtschaftliche Nutzeffekt

$$g_w = \frac{6000}{8000} = 0{,}75.$$

Im Gegensatz hierzu hat der Dampfkessel (einschließlich Dampfmaschine)

$$g_w = 0{,}042.$$

Ferner verbraucht ein Sauggasmotor für eine PS in einer Stunde etwa 0,5 kg Anthracit, wodurch 4000 WE oder $\frac{4000 \cdot 424}{60 \cdot 60} = 471$ mkg mechanische Energie in der Stunde erzeugt werden, dafür liefert er 75 mkg am Schwungrade; somit ist der wirtschaftliche Nutzeffekt

$$g_w = \frac{75}{471} = 0{,}16$$

gegen 0,051 bei dem Leuchtgasmotor. Es verhält sich also die Wirtschaftlichkeit des Sauggasmotors zu derjenigen des Leuchtgasmotors und der Dampfmaschine wie $0{,}16 : 0{,}051 : 0{,}042$ oder etwa wie $16 : 5 : 4$, d. h. die Sauggasmotoranlage ist der Leuchtgasanlage 3 mal und der Dampfmaschinenanlage 4 mal überlegen; hierin liegt die ungeheure Bedeutung dieser neuen Art der Wärmeausnutzung.

Der preußische Minister für Handel und Gewerbe hat für die Aufstellung von Generatoren und die Einrichtung des Sauggasbetriebes durch Erlaß vom 20. Juni 1904 Vorschriften gegeben, die genau befolgt werden müssen. Danach sollen die Räume, in denen das Sauggas hergestellt, gereinigt und der Motor aufgestellt wird, hell, gut zu lüften und 3,5 m hoch sein. Für Sauggasmotoren über 50 PS müssen sie mindestens 4,0 m Höhe haben. Sie dürfen zu anderen Zwecken nicht benutzt werden. Im Keller ist die Aufstellung nur zulässig, wenn die Sohle nicht über 2 m unter der benachbarten Bodenoberfläche liegt. Die Betriebsräume dürfen nicht mit Wohnräumen in unmittelbarer Verbindung stehen, sie sollen so geräumig

sein, daß die Beschickung der Generatoren bequem und gefahrlos erfolgen kann. Die während des Anheizens oder Stillstandes des Gasmotors entstehenden Gase müssen durch ein Rohr bis über die First der Nachbargebäude hinweggeleitet werden. Explosionen in der Auspuffleitung dürfen nicht stattfinden. Der Druck in den Gaswasch- und Reinigungsapparaten muß zu erkennen sein. Außerdem enthält der Erlaß noch andere weniger wichtige Vorschriften zum Schutze der Arbeiter und der Nachbarschaft.

Es ist stets zu beachten, daß das Sauggas wegen seines Gehaltes an Kohlenoxydgas sehr giftig ist (wie das Leuchtgas). Da in der Anlage während des Betriebes stets ein geringerer Druck als der atmosphärische vorhanden sein muß, so ist nicht zu befürchten, daß Gas austritt, es wird vielmehr atmosphärische Luft beim Auftreten einer undichten Stelle in die Apparate hineingezogen. Die Erfahrung hat gezeigt, daß auch dadurch keine Explosionsgefahr entsteht, weil die Öffnung schon recht groß sein muß, wenn ein explosibles Gemisch sich bilden soll, und ehe das entstanden sein kann, der Motor schon zum Stillstand gekommen ist, oder doch durch seinen schlechten Gang den Wärter auf das Vorhandensein einer undichten Stelle aufmerksam gemacht hat.

Der in dem Gas enthaltene Wasserstoff verbindet sich mit dem stets in geringen Mengen im Anthracit und Koks enthaltenen Schwefel zu Schwefelwasserstoff, der mit dem Skrubberwasser abfließt und wegen seines unangenehmen Geruches nach faulen Eiern die Nachbarschaft stark belästigen kann. Es ist daher dringend nötig, Vorkehrungen zu treffen, daß das nicht geschehen kann. Zu diesem Zweck läßt man das Wasser durch besondere eiserne Kästen laufen, die mit einer Masse gefüllt sind, die den Schwefel zerstören, wie z. B. Eisenvitriol.

II. Besondere Ausführungsweisen.

1. Gasmotorenfabrik Deutz in Cöln-Deutz.

In Fig. 76 ist eine Sauggeneratoranlage in der Ansicht und in Fig. 77 im Schnitt dargestellt. Sie besteht aus dem Generator A, dem Skrubber E, dem Kondensator F, dem Gastopf H und dem Teerabscheider t, der vor dem Gasmotor angebracht ist. Alle eben angeführten Teile sind miteinander durch Rohre verbunden.

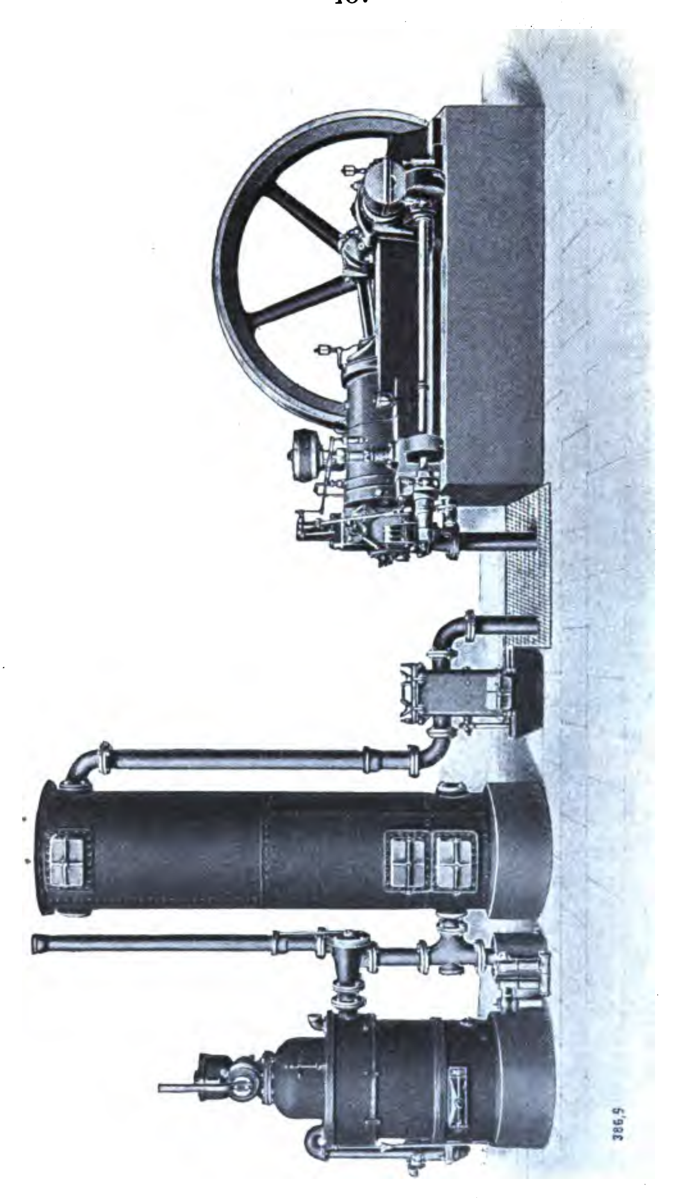


Fig. 76.

Der Generator ist ein zylindrisches, hohles Gefäß, dessen Wand zum Teil aus feuerfesten Steinen hergestellt ist. Der Innenraum dient zur Aufnahme des Brennmaterials, unten befindet sich in ihm ein Rost und darunter ein Aschenkasten b, der Wasser aufnehmen kann. Über dem Mauerwerk ist ein Wasserbehälter B (Verdampferschale) vorhanden, der auf der einen Seite durch den Stützen a mit der atmosphärischen Luft und auf der anderen durch ein Rohr r mit dem Aschenraum b unter dem Rost in Verbindung steht. Ferner ist seitlich ein Rohr c angebracht, durch das der Generator mit dem Skrubber E verbunden ist. Über dem Verdampfer B, in welchem das Wasser durch ein kleines Zuflußrohr stets auf derselben Höhe

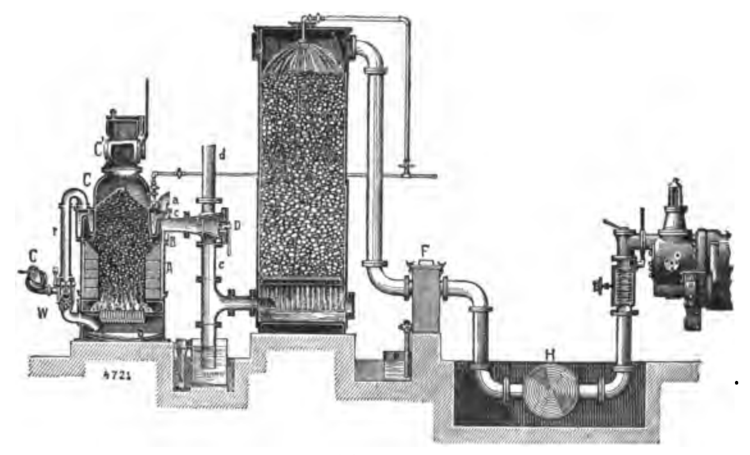


Fig. 77.

gehalten wird, ist völlig getrennt von ihm eine Haube C zur Aufnahme von Brennstoff und darüber der Fülltrichter C' mit doppeltem Verschluß so angeordnet, daß beim Einfüllen der Kohlen weder Gase entweichen noch Luft eintreten kann. Wenn nun in dem Rohr c beim Ansaugen von Gas durch den Gasmotor ein niedrigerer Druck erzeugt wird, als ihn die Außenluft hat, so muß dieser Unterdruck, weil der Innenraum des Generators vollständig abgeschlossen ist, auch im Generator entstehen und sich auf den Aschenfall b, das Rohr r und den Verdampfer B übertragen, so daß durch a atmosphärische Luft eintritt. Diese streicht über die Oberfläche des Wassers im Verdampfer B und nimmt dabei Wasserdampf auf, tritt

durch r in den Aschenfall b unter dem Rost und durch diesen in die glühende Kohlenschicht, wo sich das Sauggas bildet. Es tritt dann durch das Rohr c und den Dreiwegehahn D in den Skrubber E, welcher mit Koks gefüllt ist, der mit Wasser von oben berieselt wird. Das Gas steigt durch die Koksmassen auf und somit dem herabrieselnden Wasser entgegen, wodurch es gereinigt wird. Darauf tritt es in den Kondensator F, wo es getrocknet wird und in den Gastopf H, aus dem der Gasmotor es entnimmt. Da der Motor das Gas nur ruckweise ansaugt und somit in allen Apparaten auch nur ruckweise einen Unterdruck erzeugen würde, sorgt der Gastopf für einen Ausgleich derart, daß der Druck in den übrigen Apparaten ziemlich gleichmäßig ist. Der Verdampfer B wird durch die heißen Gase und die strahlende Wärme des glühenden Brennstoffes geheizt.

Wenn der Generator in Betrieb genommen werden soll, muß zunächst in ähnlicher Weise wie bei jedem Heizofen Feuer gemacht werden. Damit nun die Kohlen in Glut kommen, werden sie durch einen kleinen Ventilator G angefacht. Während dieser Zeit ist das Rohr r mit dem Verdampfer durch eine Klappe über der Einmündungsstelle des Ventilatorrohres in r abgesperrt und der Dreiwegehahn D so gestellt, daß die Gase nicht in den Skrubber gelangen können, sondern durch das Rohr d in die Luft 1 m über dem eignen Gebäudedach und dem der Nachbarn austreten können. An einem kleinen Hahn, der am Generator angebracht ist, kann man die entstandenen Gase auf ihre Brauchbarkeit prüfen. Brennen sie mit einer orangegelben Farbe, so sind sie gut. Dann stellt man die Klappe am Ventilator und den Dreiwegehahn D um und setzt den Gasmotor in Gang.

Für die Außerbetriebsetzung dreht man den Gashahn am Motor zu und stellt mit D die Verbindung zwischen dem Generatorinnern und der Außenluft her. Dann kann dieser wie jeder Stubenofen weiterbrennen, namentlich wenn man noch die Tür am Aschenkasten ein wenig öffnet. Da es vorkommen kann, daß der Wärter es vergißt, den Hahn D umzustellen und sich im Generator noch Gase entwickeln, die dann durch die Feuerschicht in den Aschenkasten b treten und darin kleine Explosionen erzeugen, durch die das Wasser aus dem Verdampfer bei a herausgeschleudert werden kann, so ist bei W noch ein Rückschlagventil eingebaut, das dies verhindert. Nach einer kurzen Betriebspause genügt es, mit dem Ventilator das Feuer einige Minuten anzufachen, um brauchbares Gas zu erhalten.

Die Betriebskosten stellen sich folgendermaßen:

Anlage- und Betriebskosten für Sauggasanlagen (Anthracit u. Koks)

Ausführungsweise: Gasmotorenfabrik Deutz in Cöln-Deutz.

I. Anlagekosten.

	Modell I.						
Dauerleistung des Motors PS eff. . .	8	10	12	14	16	20	25
Umdrehungszahl in der Minute	230	220	220	210	210	200	200
I. Anlagekosten.							
Preis des Generators einschl. Reinigungsapparate . . ℳ	1 600	1 800	1 800	1 800	1 800	2 100	2 100
Preis des Motors . „	3 450	3 800	4 100	4 650	5 000	5 800	6 600
Nebenkosten 25% . „	1 260	1 400	1 475	1 610	1 700	1 975	2 175
Gesamtanlagekosten ℳ	6 310	7 000	7 375	8 060	8 500	9 875	10 875
Brennstoffverbrauch.							
Anthracit 100 kg = 2,70 ℳ g	550	540	530	520	500	490	490
Koks 100 „ = 1,8 „ „	780	750	720	700	680	660	660
II. Betriebskosten. 3000 Betriebsstunden. Normale Leistung.							
1. Amortisation, Verzinsung und Instandhaltung 13%. ℳ	820	910	959	1 048	1 105	1 284	1 414
2. Bedienung . . . „	300	320	340	360	380	420	460
3. Schmieröl, Putzwolle ℳ	160	170	180	200	220	250	280
zusammen ℳ	1 280	1 400	1 479	1 608	1 705	1 954	2 154
Jährliche Brennstoffkosten.							
Anthracit + *15% ℳ	410	503	592	678	745	913	1 140
Koks + *15% „	387	466	523	608	676	820	1 025
Jährliche Betriebskosten.							
Anthracit . . . ℳ	1 690	1 903	2 071	2 286	2 450	2 867	3 294
Koks . . . . . „	1 667	1 866	2 0)2	2 216	2 381	2 774	3 179

Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde.

Anthracit . . .	₰	7,0	6,3	5,8	5,4	5,1	4,8	4,4
Koks	„	6,9	6,2	5,6	5,3	4,9	4,6	4,2

III. Betriebskosten. 1000 Betriebsstunden.
Normale Leistung.

1. Amortisation 2c.	*M*	820	910	959	1 048	1 105	1 284	1 414
2. Bedienung . .	„	150	160	170	180	190	210	230
3. Schmieröl 2c. .	„	64	68	72	80	88	100	112
Zusammen	*M*	1 034	1 138	1 201	1 308	1 383	1 594	1 756

Jährliche Brennstoffkosten.

Anthracit + *20%	*M*	143	175	206	236	259	318	397
Koks + *20%	„	135	162	187	212	235	285	356

Jährliche Betriebskosten.

Anthracit . . .	*M*	1 177	1 313	1 407	1 544	1 642	1 912	2 153
Koks	„	1 169	1 300	1 388	1 520	1 618	1 879	2 112

Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde.

Anthracit . . .	₰	14,7	13,1	11,7	11,0	10,3	9,6	8,6
Koks	„	14,6	13,0	11,6	10,9	10,1	9,4	8,5

Wegen der hohen Anthracit- und Kokspreise und den damit verbundenen verhältnismäßig hohen Betriebskosten der Sauggasanlagen suchte man Sauggas aus Steinkohlen herzustellen. Die Versuche hatten wenig Erfolg, weil es nicht gelang, die entstehenden teerhaltigen Substanzen so abzuscheiden, daß der Betrieb einigermaßen sicher war. Dagegen gelang es die in Deutschland in großer Menge vorhandenen Braunkohlen zu verwenden. Schon 1902 hatte die Gasmotorenfabrik Deutz einen solchen Generator in Düsseldorf ausgestellt. Seitdem haben sich viele Firmen mit dessen Bau beschäftigt. Meistens verwendet man jetzt eigens für diesen Zweck hergestellte Braunkohlenbriketts.

Wesentlich ist an solchem Generator, daß er die teerhaltigen Substanzen am Ausscheiden verhindert und sie in dem Motor mitverbrennt. Die Gasmotorenfabrik Deutz erreicht das in vorzüglicher Weise in ihrem Doppelgenerator, wie er in Fig. 78 in der Ansicht und Fig. 79 im Schnitt dargestellt ist. Dieser Doppelgenerator ist aus dem einfachen Generator Fig. 77 entstanden. Seine Wirkungsweise ist folgende.

*) Der Zuschlag von 15% und 20% ist für den Brennstoffverbrauch beim Anheizen und während des Stillstandes gemacht worden.

Im Gegensatz zu dem runden einfachen Generator ist er viereckig und hat zwei Stellen, an denen die atmosphärische Luft zugeführt wird und zwar unter dem Rost a durch eine Öffnung m und oben auf dem

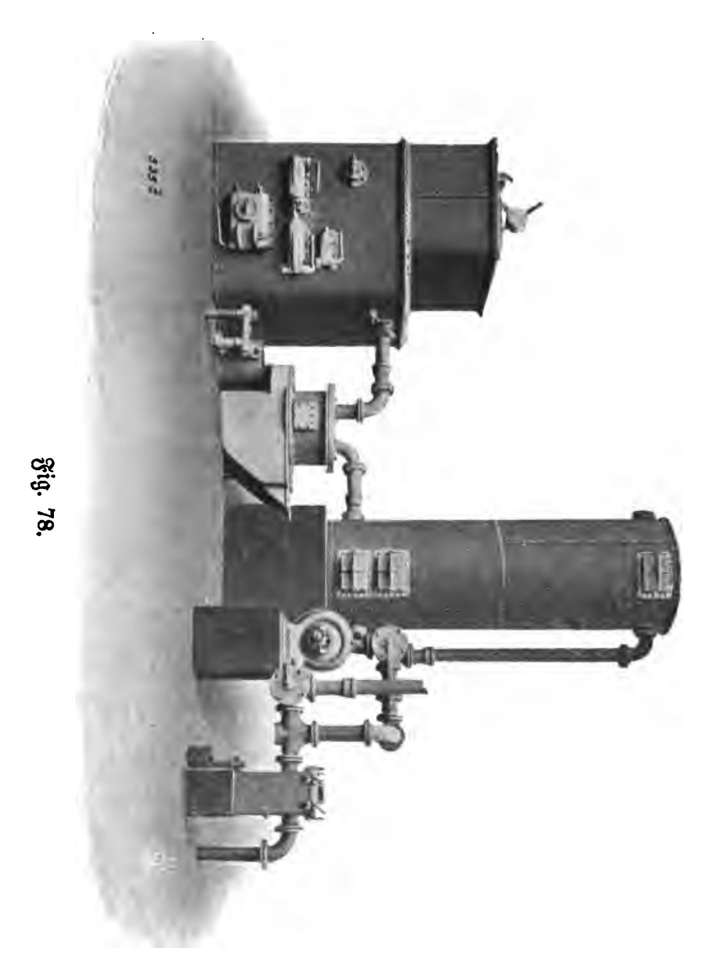


Fig. 78.

Einfülldeckel bei D. Dieser doppelten Luftzuführung entsprechend sind auch zwei Feuerzonen vorhanden, die eine auf dem Rost bei a, die andere etwa in der Mitte bei A. Wenn oben Braunkohlenbriketts eingegegeben werden, so entwickeln sie über dem Feuer Kohlenoxyd,

Kohlensäure, Stickstoff, Wasserstoff, gasförmige Kohlenwasserstoffe und Teerdämpfe der schweren Kohlenwasserstoffe. Sobald nun in dem mittleren Teile des Generators durch das Rohr b hindurch ein Unterdruck erzeugt wird, tritt die atmosphärische Luft bei D ein und zieht die eben erwähnten Gase durch die Feuerglut hindurch, wobei diese in permanente brauchbare Gase übergeführt werden. Bei der geringen Luftzufuhr bildet sich in der Feuerzone Koks, der allmählich in den unteren Teil des Generators hinabsinkt und hier über dem Rost wieder durch eine zweite Brennzone wie bei dem einfachen Generator in Gas umgewandelt wird. Das in beiden Brennzonen entstandene Gas

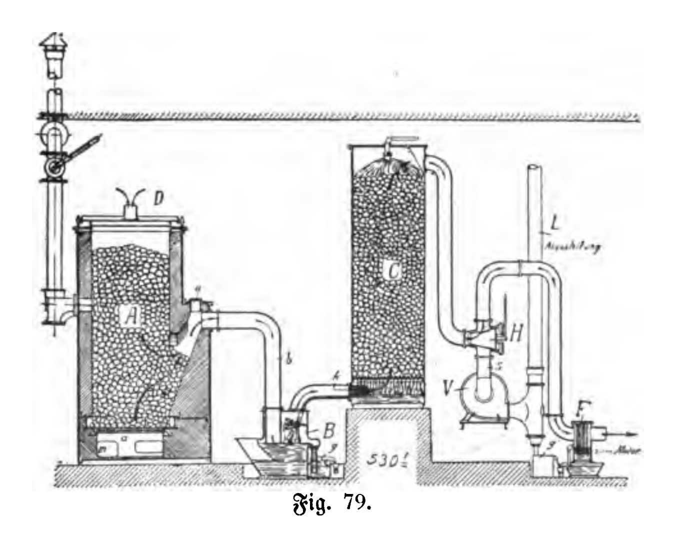


Fig. 79.

wird in der Pfeilrichtung durch einen Wasserverschluß B, zur Entfernung von mitgerissenem Staub und Ruß, durch den Skrubber C, den Dreiwegehahn H und einen Rostreiniger F vom Motor angesaugt. o bezeichnet eine Öffnung, die zum Stochen dient, wenn sich Schlacke angesetzt hat. Von dem Skrubber läuft fortwährend Wasser zum Staubsack B, so daß dieser immer in einer bestimmten Höhe damit gefüllt ist. k bezeichnet in dem Skrubber einen Drahtkorb, der verhindern soll, daß etwa durch das Sieb gefallene Koksstücke in den Staubsack gelangen. Der Rostreiniger F besteht aus einer großen Anzahl von Platten, die mit Löchern so versehen sind, daß das Gas

beim Hindurchströmen durch die Öffnungen einer Platte stets gegen die andere Platte trifft, wobei Wasser und sonstige Unreinigkeiten ausgeschieden werden. V ist ein Ventilator, der zum Warmblasen vor der Inbetriebnahme dient. Zu diesem Zweck verbindet man durch Umlegen des Dreiwegehahns die Saugleitung des Ventilators mit dem Skrubber C und drückt das Gas solange durch die Leitung L ins Freie, bis es am Probierhahn mit blauer Flamme brennt. Vor Ingangsetzung des Motors muß dann der Dreiwegehahn umgeschaltet werden.

1 kg Braunkohlenbriketts liefert etwa 4900 WE und kostet für 100 kg etwa 1 ℳ. Ein 170 pferdiger Motor verbrauchte in einer PS-Stunde 0,575 kg bei normaler Leistung und 0,6 kg bei etwas mehr als halber Belastung.

Anlage- und Betriebskosten für Sauggasanlagen

(Braunkohlenbriketts).

Ausführungsweise: Gasmotorenfabrik Deutz in Cöln-Deutz.

Dauerleistung des Motors in PS eff.		10	16	20	25	30
Umdrehungszahl in der Minute . .		220	210	200	200	200
I. Anlagekosten.						
Preis der Generatoranlage einschl. der Reinigungsapparate . . .	ℳ	2330	2330	2700	2700	2955
Preis des Motors	„	3800	5000	5800	6600	7200
Nebenkosten 25 %	„	1530	1830	2120	2320	2545
Gesamtanlagekosten	ℳ	7660	9160	10620	11620	12700
Brennstoffverbrauch, Braunkohlenbriketts 100 kg = ℳ 1,25 . .	g	890	850	830	810	800
II. Betriebskosten. 3000 Betriebsstunden. Normale Leistung.						
1. Amortisation, Verzinsung, Instandhaltung 13 %	ℳ	996	1190	1380	1510	1650
2. Bedienung	„	320	380	420	460	480
3. Schmieröl, Putzwolle ꝛc. . .	„	170	220	250	280	300
Zusammen	ℳ	1486	1790	2050	2250	2430
Jährliche Brennstoffkosten + 15 %*)	„	384	587	716	874	1035
Jährliche Betriebskosten . . .	ℳ	1870	2377	2766	3124	3465
Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde	₰	6,2	5,0	4,6	4,2	3,9

III. Betriebskosten. 1000 Betriebsstunden. Normale Leistung.

1. Amortisation 2c.	M	996	1190	1380	1510	1650
2. Bedienung	„	160	190	210	230	240
3. Schmieröl 2c.	„	68	88	100	112	120
Zusammen	M	1224	1468	1690	1852	2010
Jährliche Brennstoffkosten + 20 %*)	„	134	204	249	304	360
Jährliche Betriebskosten	M	1358	1672	1939	2156	2370
Kosten für 1 PS eff. in 1 Stunde	₰	13,6	10,4	9,7	8,6	7,9

Die sämtlichen Firmen, die Gasmotoren liefern, bauen auch Generatoren für Anthracit und Braunkohlen in der beschriebenen Weise, wenn auch selbstverständlich mit einzelnen Abweichungen, so daß es nicht erforderlich erscheint, hierauf noch näher einzugehen.

Es muß hier noch erwähnt werden, daß es jetzt auch gelungen ist, Generatoren herzustellen, in denen aus Holzabfällen ein brauchbares Sauggas gewonnen wird. Wenn die Braunkohlengeneratoren dadurch gekennzeichnet sind, daß sie 2 Brennzonen in einem Ofen haben, so ist bei den Holzgeneratoren eine völlige Trennung durchgeführt, indem in dem Generator für die Holzfeuerung eine Vergasung stattfindet und die Gase dann durch einen davon getrennten Koksgenerator geführt werden, wo sie so umgewandelt werden, daß sie brauchbar sind. Eine Zuführung von Wasserdampf ist nicht erforderlich, da das Holz schon mehr als zu viel Feuchtigkeit enthält. Trotz des Koksgenerators wird man noch einen Teerabscheider einschalten müssen. Eine solche Anlage von 240 Pferdestärken, die ich längere Zeit beobachtete, arbeitete zur vollsten Zufriedenheit.

Wo warmes Wasser in einem Betriebe gebraucht wird, kann der Motor an eine Wasserleitung angeschlossen und das abfließende warme Kühlwasser, weil es nicht verunreinigt wird, benutzt werden. Ferner lassen sich die Auspuffgase zu Heizzwecken verwenden und zum Trocknen von Holz und anderen Gegenständen. Die Gasmotorenfabrik Deutz und Gebr. Körting haben eigene Apparate hierfür konstruiert und vertreiben sie auch. Auskunft erteilen die Vertreter der Firmen bereitwilligst. Wo eine solche Benutzung der Wärme noch stattfinden kann, werden die Betriebskosten selbstredend herabgedrückt.

*) Der Zuschlag von 15 % und 20 % ist für den Brennstoffverbrauch beim Anheizen und während des Stillstandes gemacht worden.

Die Gasmotorenfabrik Deutz baut auch Vorrichtungen, die es gestatten, aus den Braunkohlengeneratoren Gas für Heizzwecke zu entnehmen und mit Vorteil zu verwenden.

§ 13.

Elektrische Kraftmaschinen.

Schon auf Seite 18 wurde erwähnt, daß sich die mechanische Energie in elektrische umformen lasse. Diese hat in den letzten Jahren eine sehr ausgedehnte Anwendung in der Praxis gefunden, weil sie nicht nur leicht von der Erzeugungsstelle an den Verbrauchsort fortgeleitet werden kann, sondern sich auch gut wieder in mechanische Energie zurückverwandeln oder in Licht-, Wärme- und chemische Energie umformen läßt.

Die Maschinen, welche dazu dienen, mechanische Energie in elektrische umzuwandeln, heißen Dynamomaschinen (Stromerzeuger, primäre Maschinen), und diejenigen, welche die elektrische Energie wieder in mechanische zurückverwandeln, Elektromotoren (Stromverbraucher, sekundäre Maschinen). Zwischen beiden Maschinen muß ein Körper vorhanden sein, der die Elektrizität von der stromerzeugenden zu der stromverbrauchenden Maschine hinführt. Diese Leitung geschieht durch einen Metalldraht aus Kupfer oder Eisen. Wird der elektrische Strom an viele Verbrauchsstellen geführt, so spricht man von einem Leitungsnetz.

Obwohl man bis jetzt noch nicht vollständig aufgeklärt hat, was eigentlich die Elektrizität ist, so kennt man doch einzelne ihrer Eigenschaften, die hier kurz angegeben werden sollen, soweit sie zum Verständnis der Elektromotoren erforderlich sind. Hierhin gehören zunächst die Beziehungen zwischen Elektrizität und Magnetismus.

Taucht man einen geraden magnetischen Stab in feine Eisenfeilspäne, so bleiben sie an seinen beiden Enden, den Polen, haften. Wird ein solcher Stab frei beweglich und horizontal aufgehängt, so zeigt der eine Pol stets nach Norden, der andere nach Süden; man nennt daher den ersteren den Nordpol N und den letzteren den Südpol S des Magneten. Wenn man einen geraden, stabförmigen Magneten hufeisenförmig biegt und über die beiden Pole N und S eine mit feinen Eisenfeilspänen bestreute Glasplatte legt, so ordnen sich die Eisenspäne in bestimmten, gebogenen Linien, sobald die Platte durch Klopfen leicht erschüttert wird. (Fig. 80.) Es muß somit in der

Richtung dieser Linien eine Kraftwirkung stattfinden, man nennt daher diese Linien **Kraftlinien** und den Raum, über den sich eine solche Kraftwirkung erstreckt, das **magnetische Feld**.

Durch Versuche ist ferner ermittelt worden, daß gleichnamige Magnetpole einander abstoßen und ungleichnamige einander anziehen. Werden daher nicht, wie soeben angenommen, verschiedene, sondern zwei gleichnamige Pole, z. B. zwei Nordpole, einander genähert, so

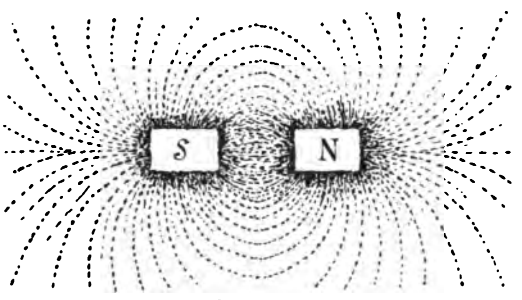


Fig. 80.

vereinigen sich die Kraftlinien nicht, sondern stoßen sich ab, wie das in Fig 81 dargestellt ist.

Während einzelne Körper den ihnen mitgeteilten Magnetismus sehr leicht wieder abgeben, wie das beim weichen Eisen der Fall ist, behalten andere, wie der Stahl, ihn dauernd, sie werden daher **Dauermagnete** genannt. Ihre Kraft ist aber zu schwach, um sie in der Technik praktisch für motorische Zwecke verwerten zu können. Starke Magnete werden mit Hilfe des elektrischen Stromes erzeugt, der unmagnetisches Eisen magnetisch macht. Wird nämlich ein elektrischer Strom spiralförmig um einen Stab weichen Eisens herumgeführt, so wird dieser magnetisch und bleibt es, solange der elektrische Strom ihn umkreist; auf diese Weise erhält man einen **Elektromagneten**. Es liegt nun auf der Hand, daß der Magnetismus um so stärker wird, je mehr Drahtwindungen den Stab umgeben, durch die der elektrische Strom fließt, und je stärker der elektrische Strom selbst ist. Je nachdem

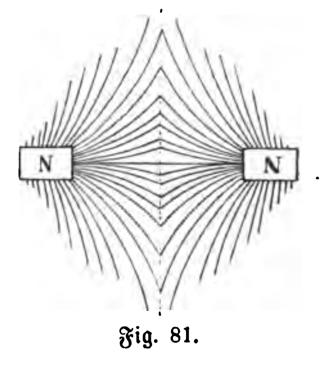


Fig. 81.

der Strom in der einen (positiven, +)*) oder in der anderen (negativen, —) Richtung den Stab umkreist, entsteht an dem Stabende ein Nord- oder Südpol. Hierfür gilt die von Ampère aufgestellte Regel, welche sagt, daß, wenn man sich mit dem positiven Strome schwimmend, dem Magneten das Gesicht zugekehrt, denkt, man stets zur linken Hand einen Nordpol hat. Eine Änderung der Stromrichtung hat natürlich auch eine Umkehr des Magnetismus vom Nord- zum Süd- oder vom Süd- zum Nordmagnetismus zur Folge.

Wird nun ein elektrischer Strom in einer Spirallinie um einen hufeisenförmig gebogenen Eisenstab geschickt, so muß bei gleichbleibender Windung der Spirale nach der eben erwähnten Ampère'schen Regel der eine Schenkel ein Nordpol, der andere ein Südpol werden; zwischen den Polen müssen die schon erwähnten und in Fig. 80 angegebenen Kraftlinien auftreten, es ist also auch ein magnetisches Feld vorhanden, dessen Stärke innerhalb gewisser Grenzen umso größer ist, je mehr Drahtwindungen um die Schenkel gewickelt sind, je stärker der elektrische Strom in den Drahtwindungen ist und je kleiner der Raum wird, in dem die Kraftlinien zusammengezogen sind. Die Luft setzt dem Durchgang der Kraftlinien einen gewissen Widerstand entgegen, der die Zerstreuung der Kraftlinienbündel zur Folge hat. Man füllt daher den Luftraum mit weichem Eisen aus, das die Eigenschaft besitzt, magnetische Kraftlinien in sich zusammenzuziehen und gut zu leiten. Bekanntlich wird zur Erhaltung der Kraft eines Hufeisenmagneten vor die beiden Enden ein Stück Eisen gelegt, das lediglich die Kraftlinien, die sich sonst in der Luft zerstreuen und zum Nachteile des Magneten verlieren, zusammenhalten soll, um dadurch die Kraft des Magneten zu erhalten. Das den Luftraum zwischen den Schenkeln ausfüllende Eisenstück wird durch die Nähe der Pole selbst magnetisch und trägt zur Erhöhung der Stärke des magnetischen Feldes bei.

Es muß hier noch erwähnt werden, daß, wenn man einen Metalldraht in der Längsrichtung über eine Magnetnadel legt, ohne sie zu

*) Man ist übereingekommen, eine durch Reiben mit Pelz elektrisch gewordene Siegellackstange als negativ und eine solche Glasstange als positiv elektrisch zu bezeichnen Der elektrische Strom geht von der Erzeugungsstelle aus durch einen Leiter und kehrt zur Erzeugungsstelle zurück, die einen negativen und einen positiven Pol hat. Man ist nun übereingekommen, den elektrischen Strom in dem geschlossenen Stromkreis vom positiven zum negativen Pol fließend anzunehmen und damit die Stromrichtung festzulegen.



berühren und durch den Draht einen elektrischen Strom sendet, der Nordpol der Magnetnadel nach links ausschlägt, falls der Strom in der Richtung vom Südpol zum Nordpol über die Magnetnadel hinwegfließt und umgekehrt. Innerhalb gewisser Grenzen ist der Ausschlag der Nadel abhängig von der Stärke des elektrischen Stromes, so daß man hierdurch in der Lage ist, die Stärke des Stromes durch die

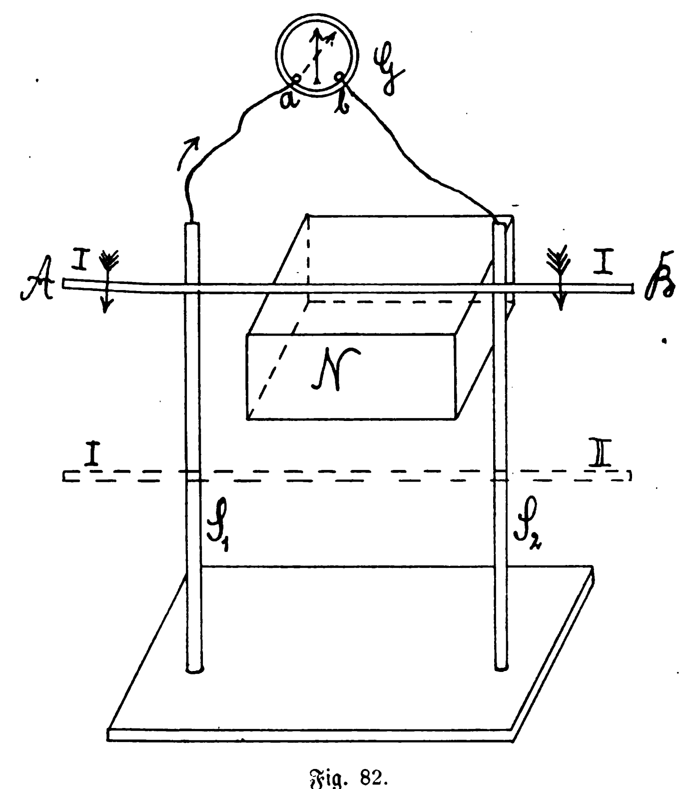


Fig. 82.

Größe des Ausschlags der Magnetnadel zu messen. Man nennt solche Meßinstrumente für schwache Ströme Galvanometer.

Wie man imstande ist, durch einen elektrischen Strom Magnetismus zu erzeugen, so kann man auch umgekehrt durch Magnetismus elektrische Ströme hervorbringen. Bewegt man nämlich einen gutleitenden Draht, z. B. einen Kupferdraht AB (Fig. 82), vor dem Nordpol N eines

Magneten vorbei, so daß der Draht durch die Kraftlinien des magnetischen Feldes hindurchgeht, dann entsteht jedesmal ein elektrischer Stromimpuls, wenn eine Kraftlinie geschnitten wird. Die Richtung des Stromes ist abhängig von dem Magnetismus (Nord- oder Südpol) und der Bewegungsrichtung des Stabes AB (auf- oder abwärts). Das mit G bezeichnete Galvanometer ist so eingerichtet, daß der Zeiger nach rechts ausschlägt, wenn der elektrische Strom bei a und nach links, wenn er bei b eintritt. Sobald nun der Stab AB schnell aus der ausgezogenen Lage I in die punktierte Lage II unter steter Berührung

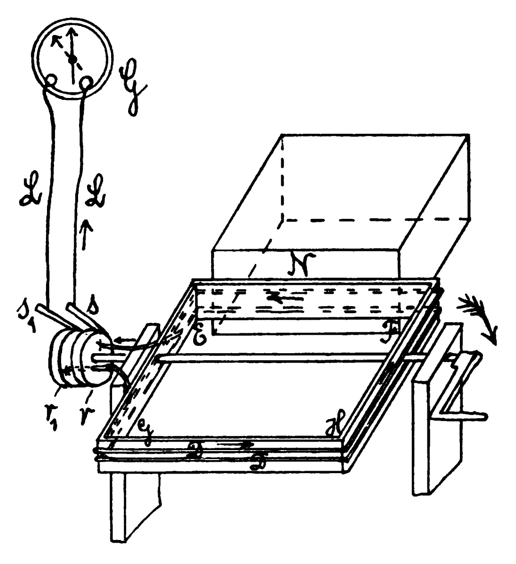


Fig. 83.

mit den kupfernen Säulen S_1 und S_2 gebracht wird, sieht man den Zeiger des Galvanometers nach rechts ausschlagen; es trat also ein elektrischer Impuls (positiver Strom) bei a ein. Bei der Aufwärtsbewegung des Stabes AB von II nach I schlägt das Galvanometer nach links aus, es ist also ein Impuls in entgegengesetzter Richtung bei b eingetreten (negativer Strom). Wird der Stab nicht vor dem Nord-, sondern vor dem Südpol eines Magneten vorbeibewegt, so sind die Stromrichtungen genau umgekehrt, indem das Galvanometer bei der Abwärtsbewegung nach links und bei der Aufwärtsbewegung nach rechts ausschlägt. Wenn nun der Stab die Kraftlinien nicht

vorübergehend, sondern andauernd in derselben Richtung schneidet, so muß auch statt des kurzen elektrischen Impulses ein ununterbrochener elektrischer Strom von gleicher Richtung entstehen. Damit hätte man eine stromerzeugende Maschine im Prinzip konstruiert. Die praktische Ausführung ist nicht so einfach, weil ein Stab in Wirklichkeit nicht stets geradlinig an dem Magneten vorbeigeführt werden kann. Man muß vielmehr zu einer drehenden Bewegung übergehen und dann gestalten sich die Verhältnisse wie sie in Fig. 83 angegeben sind.

An die Stelle des geraden Stabes AB ist ein doppelt gelagerter, drehbarer Rahmen EFGH getreten, der mit einem Draht D mehrfach umwickelt ist. Das eine Ende des Drahtes ist mit der gutleitenden, isoliert angebrachten Rolle r und das andere mit der Rolle r_1 ver-

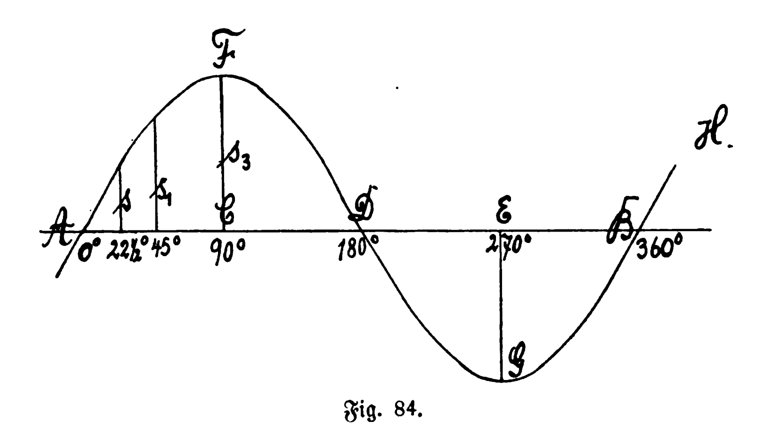


Fig. 84.

bunden, von denen der Strom durch Schleiffedern s und s_1 und die Leitungen L in das Galvanometer eintreten kann. Wenn nun der Rahmen in der Richtung des gefiederten Pfeiles an dem Magnetpol N schnell vorbeigeführt wird, so müssen die magnetischen Kraftlinien geschnitten werden und es entsteht in dem Draht ein elektrischer Strom, der in der Richtung der ungefiederten Pfeile fließt, also das Galvanometer nach links ausschlagen läßt. In dem Draht auf dem Rahmenstück FE fließt der Strom von F nach E, in dem Stück EG von E nach G und in dem Stück GH von G nach H usw. Kommt nun aber das Rahmenstück GH selbst in das magnetische Feld des Nordpoles, so entsteht in dem Draht über GH ein Strom, der von H nach G, also umgekehrt wie vorher fließt, wie es das Galvanometer durch Ausschlag

nach rechts anzeigt. So wechselt bei jeder Umdrehung des Rahmens der Strom zweimal seine Richtung, es ist also ein elektrischer Strom von wechselnder Richtung, ein Wechselstrom, entstanden.

Wenn der Rahmen senkrecht steht, werden keine Kraftlinien von dem Draht D geschnitten, es kann also auch kein Strom entstehen. Je mehr der Rahmen sich nun dem Magneten nähert, um so mehr Kraftlinien werden getroffen und um so stärker wird der Strom, bis er seine größte Stärke bei einer Drehung um 90° (wagerechte Lage, Fig. 83) erlangt hat. Bei der weiteren Drehung des Rahmens schneidet der Leiter wieder weniger Kraftlinien, die Stromstärke nimmt ab, bis sie bei einer Drehung des Rahmens um 180° (senkrechte Stellung) wieder Null wird. Bei der weiteren Drehung um nochmals 180° nimmt der elektrische Strom genau in derselben Weise an Stärke zu und ab, ist aber von entgegengesetzter Richtung wie vorher.

Wenn man den Kreisumfang, den der Leiter auf dem Rahmen bei einer Umdrehung beschreibt, als gerade Linie AB aufträgt (Fig. 84) und diese in 4 gleiche Teile teilt (AC = CD = DE = EB), so entspricht das Stück AC einer Drehung des Leiters um 90°, AD um 180°, AE um 270° und AB um 360°. Trägt man nun auf der geraden Linie AB die in jedem Augenblick entstehende Stärke des elektrischen Stromes in einem dazu gewählten Maßstab (z. B. 1 cm = 1 Ampere) auf und berücksichtigt dabei, daß der positive Strom oberhalb der Linie AB und der negative unterhalb aufgetragen werden muß, so entsteht ein Bild, wie es in Fig. 84 dargestellt ist. In dem Punkt A (senkrechte Stellung des Rahmens Fig. 83) ist kein Strom vorhanden, dann entsteht ein Strom, dessen Stärke allmählich zunimmt; bei einer Drehung des Leiters um $22^1/_2$° ist sie s, um 45° = s_1, um 90° = s_3 und erreicht damit ihren höchsten Wert (wagerechte Stellung des Rahmens), dann sinkt sie wieder bis D (senkrechte Stellung), wird negativ und erreicht ihren größten Wert bei E (wagerechte Stellung), fällt dann wieder bis B (senkrechte Stellung). Nun wiederholt sich bei der folgenden Umdrehung dasselbe Bild. Es ist deshalb die Linie AFDGBH das charakteristische Bild des Wechselstromes und speziell des sogenannten Einphasenwechselstromes.

Für manche Zwecke können die Wechselströme nicht gut verwendet werden, weil ein stets gleichgerichteter Strom erforderlich ist. Will man einen solchen Gleichstrom erhalten, so muß der Strom, der während der einen halben Umdrehung des Rahmens entstand (der

negative), eine umgekehrte Richtung erhalten. Die Umdrehung geschieht durch einen Kommutator oder Stromwender. Es ist das ein metallischer Hohlring (Fig. 85), der in zwei gleiche Teile zerschnitten ist, die gegeneinander und gegen die Umgebung gut isoliert sind. Die eine Hälfte c ist mit dem einen Ende des Leiters D (Fig. 83) und die andere d mit dem anderen Ende dauernd verbunden. Die Trennungsstellen des Kommutators werden nun so gelegt, daß sie mit der Stellung des Rahmens EFGH (Fig. 83) übereinstimmen, d. h. steht der Rahmen senkrecht, so tun es auch die Trennungsstellen usw.

Bewegt sich jetzt der Rahmen vor dem Pol vorbei, so kann die Schleiffeder s, auch Bürste genannt, stets nur den Strom abnehmen, der vor dem Magnetpol entsteht, und der ist stets von derselben Richtung, es ist also ein Gleichstrom entstanden. Sein charakteristisches Bild ist in Fig. 86 dargestellt. Es weicht von dem des Wechselstromes dadurch ab, daß der negative Teil jetzt auch positiv ist, also über der Linie liegt.

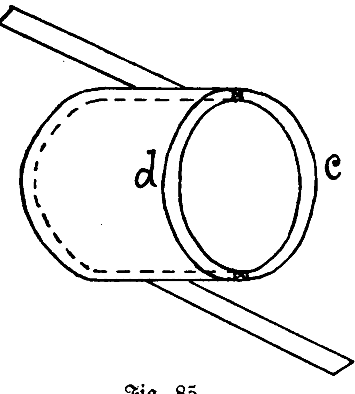


Fig. 85.

Die starken Schwankungen in der Stromstärke von Null bis zum größten Wert CF (Fig. 84), Amplitude genannt, machen ihn in der Praxis nicht verwertbar. Sollte z. B. eine elektrische Glühlampe mit einem solchen Strom gespeist werden, so würde das Licht in unerträglicher Weise flackern. Man hat deshalb dem Rahmen in Fig. 83 die Form eines Ringes gegeben und ihn aus weichem Eisen hergestellt (Fig. 87). Die Kraftlinien, die aus dem Nordpol N des Magneten austreten, gehen wie in der Figur dargestellt ist, durch das weiche Eisen zum Südpol S. Wenn um diesen Ring, Anker genannt, eine Drahtspule gelegt wird, so treten hinsichtlich der Entstehung des elektrischen Stromes dieselben Erscheinungen auf, wie sie auf Seite 171 an dem Rahmen geschildert wurden, nur ging dort während einer Umdrehung der Leiter zweimal an einem Nordpol vorbei, während er jetzt einmal an einem Süd- und einem Nordpol vorbei muß.

Bringt man eine zweite Spule an, die genau um 180° gegen die erste versetzt ist und befestigt deren Drahtenden mit den entsprechenden

Teilen des Stromwenders, so wird der elektrische Strom in der ersten Spule um denjenigen in der zweiten vermehrt. Bei Verwendung gleicher Spulen wird daher die Stromstärke verdoppelt. Wenn dagegen 4 gleiche Spulen angebracht werden, die um 90° gegeneinander versetzt

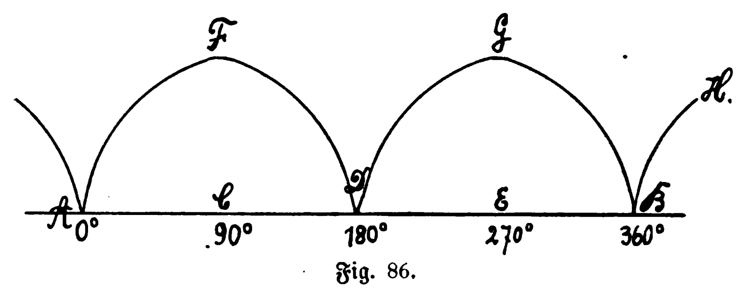


Fig. 86.

sind, so entstehen 2 charakteristische Linien des Gleichstroms, die aber um 90° gegeneinander verschoben sind (Fig. 88). In den schraffierten Teilen ist nicht nur die Stromstärke von dem einen Spulenpaar vorhanden, sondern auch von dem anderen, sie überdecken sich aber. Man

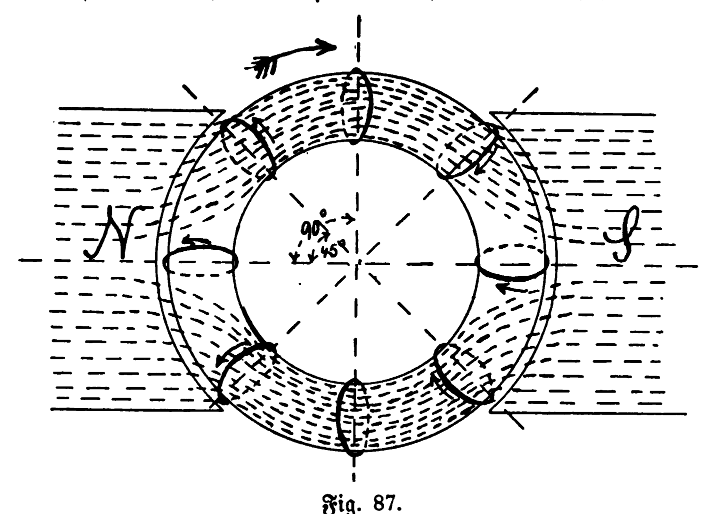


Fig. 87.

muß deshalb die Stromstärke MF noch einmal in F nach oben auftragen, dann ist MF_1 die wirklich vorhandene Stromstärke in dem Punkte M; ebenso muß es mit allen übrigen Stromstärken geschehen, dann kommt L nach L_1 usw, es wird also $L_1F_1NG_1OH_1PJ_1$ das Bild

der Stromstärke. Es ist daraus ersichtlich, daß sie durch die Einschaltung des zweiten Spulenpaares zugenommen hat, und die Schwankungen geringer geworden sind. Sobald noch mehr Spulen angebracht werden, tritt diese Wirkung noch mehr hervor, so daß bei einer großen Anzahl von Spulen Schwankungen nicht mehr wahrnehmbar sind.

Wenn man zwei Wechselströme erzeugt, die um 90° gegeneinander verschoben sind, so treten ähnliche Erscheinungen auf, wie sie soeben für den Gleichstrom geschildert wurden, die Stromstärken addieren sich teilweise und die Schwankungen werden geringer. Die Vorgänge lassen sich aber nicht in so einfacher Weise darstellen. Einen solchen

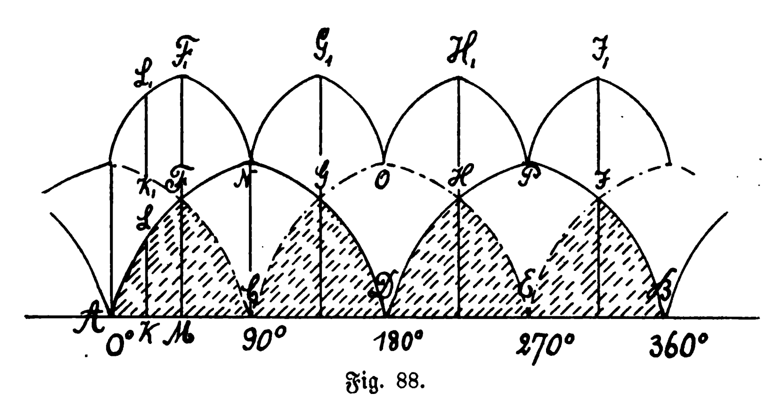


Fig. 88.

Wechselstrom bezeichnet man als Zweiphasenwechselstrom. Sobald aber drei Ströme erzeugt werden, die um 120° gegeneinander verschoben sind, entsteht ein Dreiphasenwechselstrom, den man für gewöhnlich als Drehstrom*) bezeichnet.

Je größer die Anzahl der Umdrehungen des Leiters im magnetischen Felde und die Anzahl der hintereinander geschalteten Leiter sowie die

*) Streng genommen sind auch die Zweiphasenwechselströme Drehströme, weil durch sie ein magnetisches Feld erzeugt wird, das bei wenig veränderlicher Stärke seine Richtung in gleichem Sinne fortwährend ändert, sich also dreht und somit auch drehend auf einen Anker wirkt. Diesem wird von außen kein Strom zugeführt, es entsteht in ihm nur dadurch Strom, daß das magnetische Feld induzierend auf die Ankerdrähte wirkt. Man nennt solche Motoren deshalb Induktionsmotoren. Der Wechselstrom hat eine große Bedeutung für weite Kraftübertragungen.

Anzahl der vorhandenen Kraftlinien ist, um so größer wird die Spannung des elektrischen Stromes. Je geringer ferner der Widerstand des gesamten Stromkreises, also des Leiters im magnetischen Feld und des äußeren geschlossenen Leitungsnetzes ist, um so größer wird die Stromstärke.

Der Widerstand, den der elektrische Strom beim Durchfließen eines Drahtes findet, wird um so geringer, je größer der Querschnitt und je besser das Leitungsvermögen des Metalles ist.

Am leichtesten werden die Beziehungen zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand klar, wenn man

das Fließen des Wassers in einem Leitungsrohr mit dem Fließen der Elektrizität in einem Leitungsdraht vergleicht:

1. Druck.

Wenn das Wasser durch das Leitungsrohr AB fließen soll, so muß an der einen Stelle A ein höherer Druck als an der andern B vorhanden sein. Es fließt dann von A nach B.

Der Druck wird in kg auf 1 qcm oder Atmosphären gemessen oder, was dasselbe ist, durch die Höhe einer Wassersäule in m ausgedrückt.

2. Widerstand.

Beim Durchfließen des Rohres findet das Wasser einen Widerstand, der um so größer ist, je kleiner der Querschnitt und je größer die Länge des Rohres wird.

1. Spannung.

Wenn die Elektrizität durch den Leitungsdraht AB fließen soll, so muß an der einen Stelle A eine höhere Spannung als an der andern B vorhanden sein. Sie fließt dann von A nach B.

Die Spannung wird in Volt gemessen.

2. Widerstand.

Beim Durchfließen des Drahtes findet die Elektrizität einen Widerstand, der um so größer ist, je kleiner der Querschnitt und je größer die Länge des Drahtes wird.

Außerdem ist der Widerstand um so geringer, je größer das elektrische Leitungsvermögen des Materials ist, aus dem der Draht hergestellt wurde. Der Widerstand wird in Ohm gemessen.

3. Stromstärke (Strommenge).

An der Stelle B des Rohres fließt um so mehr Wasser aus, je höher der Druckunterschied zwischen A und B und je geringer der Widerstand in diesem Rohrstück ist. Es ist daher die Stromstärke direkt proportional dem Druckunterschied und umgekehrt dem Widerstand, somit ist

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Druckunterschied}}{\text{Widerstand}}$$

in einer Zeiteinheit (1 Sekunde).

Die Stromstärke wird in Litern oder cbm gemessen.

4. Arbeit.

Die mechanische Arbeit, die erforderlich ist, um z. B. 100 Liter oder 100 kg Wasser sekundlich um 50 m zu heben oder ihm einen Druck von 50 kg zu geben, ist

$$A = 100 \cdot 50 \text{ mkg}.$$

Es ist ferner eine sekundliche Arbeit von 75 mkg = 1 Pferdestärke.

3. Stromstärke.

An der Stelle B fließt um so mehr Elektrizität durch, je größer der Spannungsunterschied zwischen A und B und je geringer der Widerstand in diesem Drahtstück ist. Es ist daher die Stromstärke direkt proportional dem Spannungsunterschied und umgekehrt dem Widerstand, somit ist

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannungsunterschied}}{\text{Widerstand}}$$

in einer Zeiteinheit.

Die Stromstärke wird in Ampere gemessen. Es ist somit

$$1 \text{ Ampere} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm.}}$$

4. Arbeit.

Die mechanische Arbeit, die erforderlich ist, um z. B. einen elektrischen Strom von 100 Ampere und 50 Volt Spannung sekundlich zu erzeugen, ist

$$A = 100 \cdot 50 \text{ Voltampere}$$
$$A = 100 \cdot 50 \text{ Watt.}$$

Es ist ferner eine sekundliche Arbeit von 736 Watt = 1 Pferdestärke.

Wie aus Fig. 87 deutlich zu entnehmen ist, schneiden die an der Innenseite des Ringes befindlichen Drahtteile der Spulen nicht die Kraftlinien, sie erhalten daher auch keinen Stromimpuls und tragen nicht zur Stromerzeugung bei, wohl aber verteuern sie die Maschinen ganz erheblich, weil etwa die Hälfte des zur Wicklung verwendeten Kupfers für die Stromerzeugung wertlos ist. Man hat deshalb Anker konstruiert, bei denen die Drähte auf einer Trommeloberfläche und an den beiden Stirnflächen liegen, bei ihnen beträgt das wirksame (aktive) Kupfer mehr als 60 %. Neuerdings werden nur solche Trommelanker verwendet (vergl. die Fig. 89, 92, 95, 96).

Wenn ein Magnetgestell nur einen Nordpol N und einen Südpol S hat, so heißt die Maschine zweipolig, sind aber zwei Paar Pole, also zwei Nordpole und zwei Südpole vorhanden, so heißt sie vierpolig. Es gibt auch acht- und noch mehrpolige Dynamomaschinen. Meistens sind die kleinen Gleichstrommaschinen von etwa $^1/_8$ bis 2 PS zweipolig, solche von 1 bis 125 PS vierpolig, und solche von 60 bis 550 PS achtpolig. Maschinen für noch größere Leistungen erhalten noch mehr Pole.

Wie zur Erzeugung eines elektrischen Stromes von bestimmter Stromstärke und Spannung in einer Dynamo eine gewisse mechanische Kraft nötig ist, so kann auch ein elektrischer Strom von bestimmter Stärke und Spannung durch einen Elektromotor wieder mechanische



Fig. 89.

Arbeit leisten. Es gilt dabei immer die Beziehung 736 Voltampere oder Watt = 1 Pferdestärke = 75 mkg in einer Sekunde.

Für jede Stromart (Gleich-, Wechsel- und Drehstrom) gibt es besondere Dynamomaschinen und Motoren, von denen die für Gleichstrom die größte Bedeutung erlangt haben und hier deshalb etwas ausführlicher behandelt werden müssen.

Zum Bau einer solchen Dynamomaschine sind folgende Teile erforderlich:

1. ein Anker, der derart mit leitenden Teilen versehen ist, daß darin ein elektrischer Strom durch Induktion entstehen kann;

2. eine Antriebvorrichtung, um den Anker in schnelle Umdrehung zu versetzen (Riemenscheibe);

3. Elektromagnete (auch Feldmagnete, Pole, Polschuhe genannt), an denen der Anker vorbeigeführt wird, mit den nötigen Erregern;

4. ein Kollektor, der den am Anker entstandenen Strom aufnimmt und ihn erforderlichenfalls kommutiert;

5. eine Vorrichtung zur Abnahme des Stromes vom Kollektor und Leitung in den Stromkreis (Bürsten nebst Halter);

6. Vorrichtung zur Lagerung der Polschuhe, dazu dient das Magnetgestell und zur Lagerung der beiden Enden des Ankers, dazu dienen die Lagerschilder.

Der Elektromotor besteht aus denselben Teilen, nur wird bei ihm der in der Leitung vorhandene Strom in den Anker geschickt und den Magneten zugeführt, so daß ein kräftiges magnetisches Feld entsteht,



Fig. 90.

in welches der Anker hineingezogen wird und sich deshalb drehen muß. Die elektrische Energie wird in mechanische umgewandelt, die am Schwungrad abgenommen werden kann.

In Fig. 89 ist ein Gleichstromelektromoter der Deutschen Elektrizitätswerke zu Aachen dargestellt. Man erkennt daran das runde Magnetgestell, in dessen seitlichen Öffnungen die Polschuhe sichtbar sind. Rechts und links an dem Magnetgestell sind die Lagerschilder erkenntlich, in denen der Anker gelagert ist, der sich im Innern des Magnetgestells vor den Polschuhen vorbeibewegt. Rechts ist noch die Riemenscheibe sichtbar, die den Anker in Umdrehung versetzt. Links erkennt man zwischen dem Lagerschild und dem Magnetgestell den Kollektor mit den Bürsten.

Es gibt eine Anzahl von Betrieben, in denen der Elektromotor Beschädigungen z. B. durch Eindringen von Holz- oder Metallspähnen ausgesetzt ist; in solchen Fällen wird er, wie Fig. 90 zeigt, mit einem Schutzblech versehen, das der äußeren Luft freien Zutritt gestattet und somit eine Erwärmung des Motors verhindert.

Ist der Motor aber gegen Spritzwasser usw. zu schützen oder im Freien aufzustellen, so muß er ganz eingekapselt werden, wie das Fig. 91 zeigt. Dabei ist für möglichste Ventilation gesorgt, damit der Motor sich nicht übermäßig erwärmt.

In ganz ähnlicher Weise werden die Dynamomaschinen und Elektromotoren der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft zu Berlin ausgeführt.



Fig. 91.

In Fig. 92 ist ein Elektromotor der A. E. G. in offener Bauart dargestellt. Er ist so konstruiert, daß er auf den Fußboden gestellt oder an der Decke oder der Wand befestigt werden kann. Für Räume, in denen nur eingekapselte Motoren verwendet werden können, sind die Konstruktionen Fig. 93 mit Ventilation und Fig. 94 vollständig eingekapselt bestimmt.

Etwas anders ist die Anordnung bei den Maschinen der Siemens-Schuckertwerke, Berlin. Das Magnetgestell (Fig. 95) bildet ein geschlossenes Gehäuse, in dem oben und unten die Erregerspulen mit darin befindlichem Elektromagneten angeordnet sind, zwischen ihnen wird der Trommelanker bewegt, dessen Achsschenkel in kräftigen seitlichen Bügeln gelagert sind. Links in der Figur befindet sich die

Riemenscheibe für den Antrieb des Ankers, rechts innerhalb des Bügels der Kommutator und die Bürsten zur Abnahme des elektrischen Stromes. In Fig. 96 ist eine vierpolige Gleichstrommaschine derselben Firma wiedergegeben, deren einzelne Teile ohne weitere Erklärung verständlich sind.

Einen Teil des im Anker erzeugten Stromes schickt man durch Spiralen um die Magnetschenkel, um hier den erforderlichen Magnetismus zu erzeugen. In den Magnetschenkeln des Gestelles aus Stahlguß befindet sich immer etwas Magnetismus, sogenannter remanenter Magnetismus, welcher so viel Kraftlinien hervorruft, daß beim



Fig. 92.

Drehen ein Strom, wenn auch nur ein schwacher, hervorgerufen wird. Dieser hebt dann, in die Spiralen tretend, die Stärke des magnetischen Feldes, so. daß in kurzer Zeit die Dynamo einen kräftigen Strom liefern kann. Der remanente Magnetismus ist daher von der größten Wichtigkeit für das Anlassen einer Gleichstromdynamomaschine, weil nur durch ihn die Stromerzeugung im Anker eingeleitet wird.

Wenn man den Anker einer Dynamomaschine bewegt, ohne den äußeren Leitungskreis zu schließen, so wird hierzu nur wenig Kraft verbraucht, nämlich nur soviel als zur Überwindung der in der Maschine enthaltenen Widerstände nötig ist; schließt man dagegen den äußeren

Leitungskreis, so entsteht in ihm ein elektrischer Strom, und der Kraftverbrauch steigt sofort. Je mehr Strom nun die Dynamomaschine an den Leitungskreis abgibt, um so mehr steigt der Kraftverbrauch, so daß also die zur Bewegung des Ankers aufgewendete motorische Kraft in einen elektrischen Strom von entsprechender Stärke umgewandelt ist.

In der Wirkungsweise sind fast alle Dynamomaschinen gleich, sie weichen nur hinsichtlich der Anordnung des Magnetgestells, der Konstruktion des Ankers sowie einzelner Details von einander ab, daher ist auch der Wirkungsgrad, das heißt das Verhältnis der an den Schleifbürsten in dem elektrischen Strom wiedergewonnenen zu der zur Drehung des Ankers aufgewendeten Arbeit ein verschiedener. Er ist um so größer, je mehr Umdrehungen der Anker macht und je



Fig. 93.

mehr Kraftlinien des magnetischen Feldes durch den Anker hindurchtreten und in ihm zur Stromerzeugung verwendet werden. Die Dynamomaschinen haben einen Wirkungsgrad, der je nach der Größe von $g = 0{,}85 - 0{,}96$ ist.

Es ist vorhin erwähnt worden, daß nur ein Teil des erzeugten elektrischen Gleichstromes durch die Spiralen um die Magnetschenkel geschickt wurde, um darin den erforderlichen Magnetismus zu erregen. Die Schenkel wurden also nicht vom Hauptstrom, sondern von einem Nebenstrom umkreist, man nennt deshalb solche Maschinen Nebenschlußmaschinen, zum Unterschied von Hauptschlußmaschinen, bei denen der Hauptstrom durch die Erregerspulen geschickt wird. Wenn die Magnetschenkel sowohl vom Hauptstrom als auch von einem

davon abgezweigten Nebenstrom umkreist werden, spricht man von Compound- oder **Verbundmaschinen**.

Der in der Dynamo erzeugte Strom kann nun auf ziemlich große Entfernungen durch Leitungen fortgeschickt werden, die sowohl ober- als auch unterirdisch angelegt werden können. Die ersteren sind billig, können aber als Verkehrshindernis auftreten und mancherlei Gefahren bringen, die letzteren sind besser, aber auch etwa achtmal so teuer.

In jeder Leitung wird ein bestimmter Verlust an Spannung auftreten, und zwar ist er, abgesehen von der Leitungsfähigkeit des Materials, um so größer, je länger die Leitung und je kleiner der Leitungsquerschnitt. Man kann den Wirkungsgrad einer großen Leitung zu $g = 0{,}85$ bis $0{,}90$ annehmen.

Durch das Leitungsnetz wird der elektrische Strom den einzelnen Verbrauchsstellen zugeführt, an denen Elektromotoren vorhanden sind, welche die in dem Strom fortgeleitete Arbeit hier in motorische Kraft zurückverwandeln sollen.



Fig. 94.

Zur Fortleitung des elektrischen Stromes auf große Entfernungen wählt man den hochgespannten Wechselstrom, weil die Anlagekosten für das Netz dabei erheblich geringer sind, als beim Gleichstrom von gleicher Spannung. Dieser Wechselstrom muß für Gleichstrommotoren erst wieder in einen Gleichstrom von niedriger Spannung umgewandelt werden, das geschieht durch Transformatoren oder Umformer.

Es gibt auch Elektromotoren für den Wechselstrom. Diese **Wechselstrommotoren** lassen sich nicht so einfach wie die Gleichstrommotoren behandeln. Es soll aber trotzdem die Wirkungsweise, soweit angängig, hier im Prinzip angegeben werden. Bei den bisher dargestellten Motoren drehte sich der Anker in dem dazu gehörigen Feldmagneten, bei den Wechselstrommotoren ist es in der Praxis umgekehrt, es dreht sich bei ihnen der Feldmagnet in dem Anker, der ringförmig ausgebildet ist. In Fig. 97 stellt A die stromerzeugende

Einphasen-Wechselstrommaschine (Generator genannt) dar. Um den Ringanker sind zwei Drahtspulen gewickelt, die untereinander verbunden sind. Wenn der Feldmagnet an ihnen vorüberbewegt wird, so entsteht in ihnen ein Wechselstrom, der dem genau gleichgebauten Motor B zugeführt wird. Tritt der elektrische Strom in der Richtung der ausgezogenen Pfeile in den Motor ein, so entsteht in dem Ring ein Magnetismus, dessen Südpol oben an der nicht umwickelten Stelle und dessen Nordpol gegenüber unten ist. Der oben befindliche Südmagnetismus zieht den Nordpol des Feldmagneten an, ebenso der unten befindliche Nordmagnetismus den Südpol; aber noch bevor diese Kräfte zur Wirkung gekommen sind und eine Drehung des Feldmagneten hervorgerufen haben, nämlich in etwa $^1/_{100}$ Sekunde, hat der elektrische Strom die

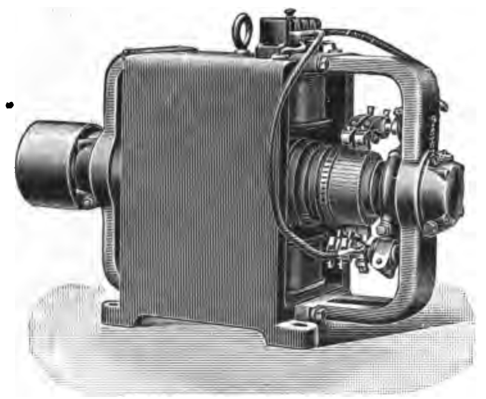


Fig. 95.

Richtung gewechselt, der Nord- wird Süd- und der Süd- Nordmagnetismus. Es wird jetzt der Feldmagnet ebenso stark von dem gleichartigen Magnetismus abgestoßen, wie er vorhin angezogen wurde; er kann also keine Drehung ausführen. Infolgedessen können diese Einphasenwechselstrommaschinen nicht von selbst anlaufen. Nur wenn sie vorher genau auf dieselbe Umdrehungszahl wie der Generator gebracht sind, können sie Arbeit leisten. Man nennt solche Motoren, bei denen der Feldmagnet gleichzeitig (synchron) mit dem des Generators eine Umdrehung vollendet haben muß, synchrone Motoren. Im Gegensatz hierzu heißen diejenigen Motoren, bei denen immer ein Unterschied vorhanden sein muß, asynchrone; sie sind dadurch gekennzeichnet, daß bei ihnen entweder in dem Läufer oder in dem festen

Ständer die elektrische Energie durch Induktion übertragen wird. Diese laufen daher von selbst an. Der Läufer besteht aus einer größeren Anzahl von Drähten, die auf einer Trommel angebracht und auf den Stirnflächen durch Kupferringe verbunden sind. Die Ströme werden durch die Wicklung so geführt, daß sie sich in ihrer drehenden Bewegung gegenseitig unterstützen oder kurzgeschlossen. Solche Motoren gibt es für Einphasen- und Zweiphasenwechselstrom sowie für Drehstrom.

Der Elektromotor unterscheidet sich vorteilhaft von anderen Kleinmotoren dadurch, daß er mit Ausnahme der synchronen Motoren von selbst, das heißt ohne Andrehen anläuft, daß sich seine Umdrehungszahl äußerst gleichmäßig hält und seine In- und Außerbetriebsetzung in einer

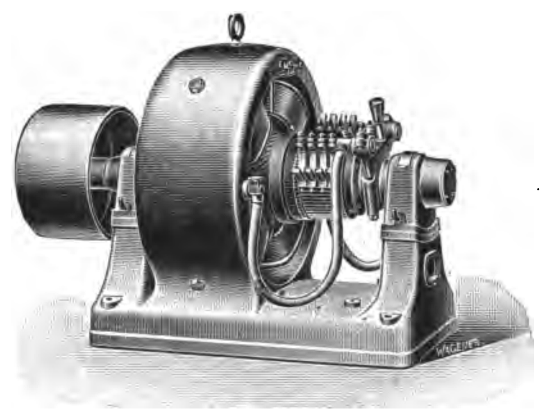


Fig. 96.

außerordentlich einfachen Weise nur durch Bewegung eines Hebels auf einem Schaltbrett bewirkt werden kann. Wie man bei einer Dampfmaschine den hochgespannten Kesseldampf nicht plötzlich in den Zylinder hinter den stillstehenden Kolben eintreten lassen darf, um die Maschine nicht zu zerstören, so darf man auch nicht den gespannten elektrischen Strom plötzlich in einen Elektromotor lassen. Im ersten Falle drosselt man den Dampf, d. h. man hebt seine Spannung durch allmähliches Öffnen des Einlaßventils, im anderen Falle hebt man die Spannung des elektrischen Stromes durch Ausschalten eines Widerstandes in der Stromleitung. Diesen kann man durch eine Anlaßvorrichtung Fig. 98 mittels eines Hebels, den man langsam über die Kontaktknöpfe hinwegbewegt, allmählich ausschalten. Manche Anlaßvorrichtungen, so die

dargestellte, ermöglichen es sogar, die Geschwindigkeit des Motors etwas zu regulieren.

Die Anlaßvorrichtung, eine Meßvorrichtung für den verbrauchten elektrischen Strom, sowie unter Umständen einen Spannungsmesser (Voltmeter) und einen Stromstärkemesser (Amperemeter) bringt man der besseren Übersicht wegen auf einem besonderen Brett, dem Schaltbrett, an. Es wird an irgend einer passenden Stelle an der Wand befestigt.

In Fällen, wo es nicht darauf ankommt, die Stromstärke in jedem Augenblick ablesen zu können, wie es namentlich bei dem Kleinmeister der Fall sein wird, können das Amperemeter und Voltmeter fortfallen.

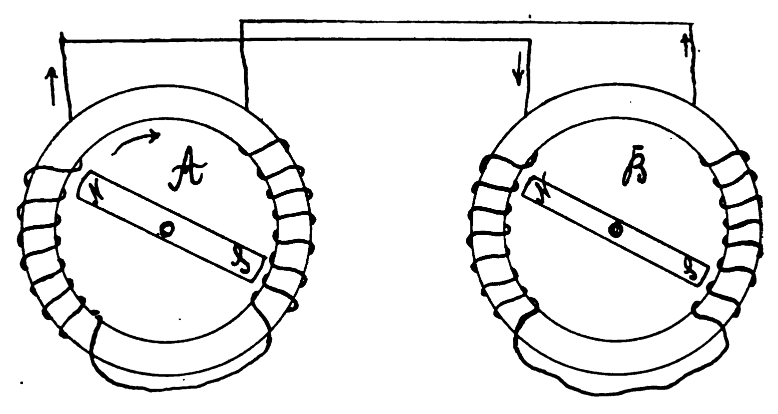


Fig. 97.

Da der Stromverbrauch sich genau nach dem Kraftverbrauch regelt, so kann auch nur soviel Strom bezahlt werden, als Kraft oder Licht verbraucht wird. Die Messung dieser Elektrizitätsmenge geschieht durch den Dr. Aronschen oder einen anderen Elektrizitätszähler in ähnlicher Weise wie der Verbrauch an Gas durch den Gasmesser.

In Fig. 99 ist ein solcher Apparat, der in eine Zweigleitung eingeschaltet wird, dargestellt. Er zeigt drei Pendel, welche auf eine gleiche Schwingungsdauer reguliert sind; das mittlere ist ein gewöhnliches Pendel, während die beiden anderen Stahlmagneten sind, die sich über Drahtspulen bewegen, von denen die eine eine Spannungsspule und die andere eine Stromstärkespule ist. Alle drei werden durch ein Uhrwerk im Gang erhalten und wirken auf ein gemein-

schaftliches Zählwerk so, daß dieses die Differenz der Schwingungen in Kilowatt anzeigt.

Wie schon erwähnt wurde, ist es in manchen Fällen nötig, den Wechselstrom in einen Gleichstrom umzuwandeln, das kann durch Umformer oder Transformatoren geschehen. Sie beruhen auf dem Prinzip, daß ein Gleichstrom aus einem Leiter im Augenblick des Schließens und Unterbrechens in einem benachbarten Leiter wieder einen Gleichstrom erzeugt. Statt nun den ersteren Strom fortwährend zu schließen und zu unterbrechen, kann man einen Wechselstrom auf diese Weise ohne weiteres in einen Gleichstrom umwandeln. Der Transformator ist so gebaut, daß beide Leiter als Rollen aufgewickelt und ineinander geschoben sind.



Fig. 98.

Die Transformatoren dienen auch dazu, um einen wenig gespannten Strom in einen hochgespannten umzuwandeln und umgekehrt. Im ersteren Falle hat die innere Spule für den niedrig gespannten Strom wenig Windungen und starken Draht, während die äußere sehr viele Windungen und dünnen Draht erhält. Man wird die Umformer anwenden, wenn ein niedrig gespannter Strom erzeugt und dann weit fortgeleitet werden soll, indem man zur Ersparung an Kosten für das Leitungsnetz den schwachen Strom in einen hochgespannten umformt und an der Verbrauchstelle umgekehrt verfährt. Die Umformer haben einen Wirkungsgrad g bis zu 0,97, d. h. es gehen bei guten und großen Umformern bis zu 3% an elektrischer Energie verloren. Neuerdings werden auch rotierende Umformer, ähnlich wie die Dynamomaschinen, gebaut, die den Wechselstrom in Gleichstrom verwandeln.

Es muß hier noch erwähnt werden, daß der elektrische Strom für den Menschen Gefahren in sich birgt, wenn er durch den Körper geleitet wird, was dadurch geschehen kann, daß dieser unbeabsichtigterweise in den Stromkreis eingeschaltet wird. Bei schwachen Strömen können

Verbrennungen, bei stärkeren Tötungen hervorgerufen werden. Eine Grenze dafür, wann der Strom tödlich wirkt, läßt sich nicht angeben, weil sie abhängig ist vom Widerstand, den der Körper dem Durchgang entgegensetzt, und von der Art des Stromes (Gleich- oder Wechselstrom). Es ist daher dringend zu empfehlen, die elektrischen Anlagen nur durch gewissenhafte, sachverständige Leute ausführen und dabei genau die Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker beachten zu lassen.

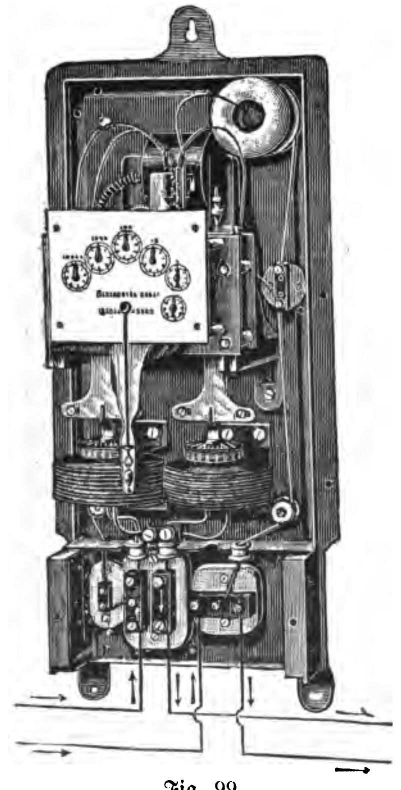


Fig. 99.

Wer die elektrische Energie als Kraftquelle benutzen will, muß sie kaufen, wobei der Preis für eine Kilowattstunde, d. h. für den Verbrauch von 1000 Watt = 1000 Volt-Ampere in einer Stunde angegeben wird. Er schwankt je nach der Art der Stromlieferungsanlage zwischen etwa 70 und 30 Pfennigen für die Kilowattstunde, wobei von einigen Stromerzeugern noch ein Rabatt gewährt wird. Für die Kostenberechnung kann man für jede Pferdestärke eines Elektromotors den stündlichen Stromverbrauch von 1 Kilowatt rechnen.

Die großen Elektrizitätswerke haben meistens einen sehr komplizierten Tarif, so verkauft z. B. das kommunale Elektrizitätswerk „Mark“ in Hagen den Strom nach 3 verschiedenen Tarifen. Es geht bei ihrer Aufstellung von dem Gesichtspunkte aus, daß man dem Konsumenten den billigsten Preis stellen kann, der den Strom in einer bestimmten Höhe möglichst gleichmäßig abnimmt und zu den Zeiten, wo viel Licht gebrannt wird, auf die Energieabnahme verzichtet. Zweifellos ist das für den Betrieb der Zentrale am günstigsten, weil dadurch sich die Stromabnahme und somit auch die Strom-

erzeugung am gleichmäßigsten gestaltet. Demnach werden auch besondere Elektrizitätszähler, sogenannte Doppeltarifzähler, verwendet, die so eingerichtet sind, daß ein Uhrwerk automatisch bei Beginn der Sperrzeit den Zähler für den höheren (gewöhnlichen) Preis einstellt und am Ende der Zeit wieder denjenigen für den ermäßigten. Die Sperrzeit ist im Januar und November von $4^{1}/_{2}$—9 Uhr Nachmittags, im Februar und Oktober von $5^{1}/_{2}$—9 Uhr, im März und September von $6^{1}/_{2}$—9 Uhr, im April und August von $7^{1}/_{2}$—9 Uhr, im Mai von 8—9 Uhr und im Dezember von 4—9 Uhr.

Der ermäßigte Preis ist bei einem monatlichen Stromverbrauch

Verbrauch						
bis 100 Kilowattstunden						je 20 ₰.
über 100— 200	„	, die ersten 100	Kilowattstd.	20 M,	jede weitere	19 „
„ 200— 300	„	, „ „ 200	„	39 „ ,	„ „	18 „
„ 300— 400	„	, „ „ 300	„	57 „ ,	„ „	17 „
„ 400— 500	„	, „ „ 400	„	74 „ ,	„ „	16 „
„ 500— 600	„	, „ „ 500	„	90 „ ,	„ „	15 „
„ 600— 700	„	, „ „ 600	„	105 „ ,	„ „	14 „
„ 700— 800	„	, „ „ 700	„	119 „ ,	„ „	13 „
„ 800— 900	„	, „ „ 800	„	132 „ ,	„ „	12 „
„ 900—1000	„	, „ „ 900	„	144 „ ,	„ „	11 „
„ 1000	„	, „ „ 1000	„	155 „ ,	„ „	10 „

Der gewöhnliche Preis ist bei einem monatlichen Stromverbrauch

Verbrauch						
bis 100 Kilowattstunden						je 40 ₰.
über 100— 200	„	, die ersten 100	Kilowattstd.	40 M,	jede weitere	38 „
„ 200— 300	„	, „ „ 200	„	78 „ ,	„ „	36 „
„ 300— 400	„	, „ „ 300	„	114 „ ,	„ „	34 „
„ 400— 500	„	, „ „ 400	„	148 „ ,	„ „	32 „
„ 500— 600	„	, „ „ 500	„	180 „ ,	„ „	30 „
„ 600— 700	„	, „ „ 600	„	210 „ ,	„ „	28 „
„ 700— 800	„	, „ „ 700	„	238 „ ,	„ „	26 „
„ 800— 900	„	, „ „ 800	„	264 „ ,	„ „	24 „
„ 900—1000	„	, „ „ 900	„	288 „ ,	„ „	22 „
„ 1000	„	, „ „ 1000	„	310 „ ,	„ „	20 „

Darauf wird ein Rabatt gewährt bei monatlich

unter 100	Benutzungsstunden	0%
über 100—150	„	10%
„ 150—200	„	15%
„ 200	„	20% .

wobei die Benutzungsstunden in der Weise ermittelt werden, daß die in einem Monat gemessenen Kilowattstunden durch den Anschlußwert

der Anlage geteilt werden. Dieser Anschlußwert berechnet sich nach dem Stromverbrauch und zwar gilt bei Elektromotoren

			bei Lichtverbrauch
1/4 PS	= 0,320	Kilowattverbrauch	Kohlenfadenlampe 10 Kerzen = 35 Watt
1/2 „	= 0,600	„	„ 16 „ = 50 „
1 „	= 1,000	„	„ 32 „ = 100 „
4 „	= 3,900	„	Nernstlampen jede Kerze . . 1,8 „
5 „	= 4,850	„	Osmiumlampen ꝛc. „ . . 1,5 „
6 „	= 5,800	„	Osramlampen ꝛc „ . . 1,0 „
7 „	= 6,750	„	Bogenlampen je nach der Spannung verschieden.
8 „	= 7,700	„	
usw.			

Der Anschlußwert wird bei der Inbetriebnahme bestimmt, er ist z. B. für einen 8 PS Motor 7,7 Kilowatt, brennt der betreffende Motorbesitzer auch elektrisches Licht, z. B. 3 Kohlenfadenlampen von je 32 Kerzen, so ist der Anschlußwert 7,700 + 0,300 = 8,000 Kilowatt.

Wenn ein Gewerbetreibender seinen Motor täglich 10 Stunden benutzen muß und dabei von 7—8½, 9—12, 1—4 und 4½—7 Uhr arbeitet, so fallen jährlich 310 Arbeitsstunden in die Sperrzeit, für welche der gewöhnliche (hohe) Preis berechnet wird.

Hiernach möge ermittelt werden, wieviel z. B. ein Handwerker im Monat November für seinen 8 PS Elektromotor bei 10stündiger täglicher Arbeitszeit für 25 Arbeitstage an das Elektrizitätswerk zu zahlen hat.

Der Kilowattstundenzähler gibt z. B. an, daß nach dem gewöhnlichen Preis 508 und dem ermäßigten 1504 Kilowattstunden geliefert wurden. Der Anschlußwert sei auf 8 KW festgesetzt.

Demnach ist der Preis

a) für den ermäßigten Satz

1000 Kilowattstunden	=	155,— ℳ	
500 „	=	90,— „	
4 „	=	0,60 „	
			245,60 ℳ

b) für den gewöhnlichen Satz

500 Kilowattstunden	=	180,— ℳ	
8 „ je 30 ₰	=	2,40 „	
		182,40 ℳ	182,40 ℳ
			428,— ℳ

Die Benutzungsstunden berechnen sich aus
1504+508 = 2012 Kilowattstunden und dem Anschlußwert 8 KW. Demnach

$$\text{Benutzungsstunden} = \frac{\text{Kilowattstunden}}{\text{Kilowatt}} = \frac{2012}{8} = \text{rd } 251.$$

Es wird somit ein Rabatt von 20% gewährt, also ist zu zahlen $428 - \frac{428 \cdot 20}{100} = 428 - 85{,}6 = 342{,}40$ M. Da nur 8 PS geleistet wurden, so kostet eine PS in einer Stunde $\frac{34240}{8 \cdot 25 \cdot 10} = 17{,}1$ ₰ nur an elektrischen Strom.

Für Großkonsumenten, das sind solche mit einem höheren Anschlußwert als 10 KW, berechnet sich der Preis in etwas anderer Weise; sie sind an keine Sperrzeit gebunden, sondern können den Strom unbeschränkt bei Tag und Nacht beziehen. Bei ihnen ist daher kein Doppelzähler vorhanden, sondern ein einfacher Kilowattstundenzähler und außerdem ein Leistungszähler, das ist ein Zähler, der die auf die Dauer einer Viertelstunde benutzte Höchstleistung in KW angibt. Die Benutzungsstunden berechnen sich wieder aus den abgelesenen Kilowattstunden, geteilt durch die abgelesene Höchstleistung in KW.

Dann ermittelt sich der Grundpreis aus dem Werte

$$\frac{1350}{\text{Benutzungsstunden}} + 3{,}3 \text{ Pfennige.}$$

Hierauf wird dann noch ein Rabatt gewährt beim Verbrauch von monatlich

0— 2500	Kilowattstunden	0%
2501— 5000	„	5%
5001— 7500	„	10%
7501—10000	„	15% usw

jedoch darf der Grundpreis nicht unter 4,5 Pfennige sinken.

Hat ein Gewerbetreibender in einem Monat z. B. 5600 Kilowattstunden verbraucht und zeigt der Leistungszeiger 20 KW an, so sind die

$$\text{Benutzungsstunden } \frac{5600}{20} = 280 \text{ Stunden.}$$

Demnach ist der

$$\text{Grundpreis } \frac{1350}{280} + 3{,}3 = 4{,}8 + 3{,}3 = 8{,}1 \text{ Pfennig.}$$

Es kosten nun

2500 Kilowattstunden je 8,1 ₰ ohne Rabatt = 202,50 ℳ

2500 „ „ „ „ mit 5% „
= 202,50—10,13 = 192,37 „

600 „ mit 10% Rabatt
= 48,60— 4,86 = 43,74 „

zusammen = 438,61 ℳ

oder 1 Kilowattstunde kostet

$$\frac{438,61}{5600} = \text{rd } 7,8 \text{ Pfennige.}$$

Man ersieht hieraus, daß es nicht leicht ist, die wirklichen Kosten zu berechnen und eine einigermaßen zutreffende Betriebskostenberechnung vorher aufzustellen. Es ist daher auch diese Berechnungsmethode in einzelnen Fällen schon wieder aufgegeben worden.

Nach dem Vorhergehenden sollen hier nun die Betriebskosten für Elektromotoren ermittelt werden und zwar unter Annahme des Tarifes mit der Sperrzeit. Die angesetzten Preise und Stromverbrauchsangaben sind dem Verzeichnis der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin, entnommen.

Gleichstrommotoren.

Leistung des Motors in PS eff.	$^1/_2$	1	2	3	5	7,8	10	12,5	16	23
Umdrehungszahl in 1 Min. bei 220 Volt	1700	1480	1300	1250	1180	960	900	910	840	735
Stromverbrauch in Watt	500	940	1900	2850	4400	6400	8500	10600	13500	19000
I. Anschaffungskosten.										
Preis des Motors ℳ	186	257	408	509	610	750	850	1000	1200	1633
„ „ Anlassers „	31,5	31,5	31,5	35	35	50	50	100	100	100
zusammen ℳ	217,5	288,5	439,5	544	645	800	900	1100	1300	1733
Stellschienen, Anschluß an die Stromleitung, Fundament, Aufstellung ꝛc. 20%	43,5	57,7	87,8	108,8	129	160	180	220	260	346,6
Gesamtpreis ℳ rd.	261	346	527	653	774	960	1080	1320	1560	2080
II. Betriebskosten für 3000 Betriebsstunden. Normale Leistung.										
1. Amortisation und Verzinsung 12% ℳ	21,3	41,5	63,2	78,4	92,9	115,2	129,6	158,4	187,2	249,6
2. Bedienung	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3. Schmieröl ꝛc.	12	20	40	55	70	100	115	120	140	170
4. Strompreis	263	484	928	1331	1879	2485	3104	3711	4530	6037
Jährliche Betriebskosten ℳ	296,3	545,5	1031,2	1464,4	2041,9	2700,2	3348,6	3989,4	4857,2	6456,6
1 PS kostet in einer Stunde in ₰	19,8	18,2	17,2	16,3	13,6	11,5	11,1	10,6	10,1	9,4

III. Betriebskosten für 1000 Betriebsstunden.
Normale Leistung.

1. u. 2. Amortisation, Bedienung 2c. ℳ	21,3	41,5	63,2	78,4	92,9	115,2	129,6	158,4	187,2	249,0
3. Schmieröl 40 % „	4,8	8,0	16,0	22,0	28,0	40,0	46,0	48,0	56,0	68,0
4 Strompreis*) „	100,0	188,0	372,0	550,0	821,0	1139,0	1440,0	1704,0	2010,0	2560,0
Jährliche Betriebskosten ℳ	126,1	237,5	451,2	650,4	941,9	1294,2	1615,6	1910,4	2253,2	2877,6
1 PS kostet in einer Stunde in ₰	25,2	23,8	22,6	21,7	18,8	16,6	16,2	15,3	14,1	12,5

Die Betriebskosten für Wechselstrom- und Drehstrommotoren sind nicht sehr abweichend, so daß eine Ermittelung hier nicht mehr erforderlich ist.

§ 14.

Vergleichende Zusammenstellung der Betriebskosten für die verschiedenen Arten von Kleinkraftmaschinen.

Obwohl die Höhe der Betriebskosten nicht allein für die Anschaffung von Kleinmotoren in Frage kommen kann, so ist sie dafür doch von hohem Wert. Es sollen hier deshalb die rechnerisch ermittelten Kosten übersichtlich zusammengestellt werden. Wenn die Preise für die Kraftquelle von den angenommenen Werten abweichen, so kann die Rechnung dementsprechend leicht abgeändert werden. Immerhin geben die in der folgenden Tabelle übersichtlich angeordneten Kosten gute Mittelwerte und können deshalb auch miteinander verglichen werden.

(Siehe umstehende Tabelle, S. 194.)

Am teuersten ist die vom Menschen geleistete mechanische Arbeit, indem sie 5 mal teurer ist als die vom Pferde geleistete, 54 mal teurer als die des Sauggasmotors und sogar 83 mal teurer als die der großen Dampfmaschine. Es geht hieraus ganz unzweifelhaft hervor, daß man die mechanische Arbeit des Menschen überall möglichst durch Maschinenarbeit ersetzen muß, wenn man überhaupt konkurrenzfähig bleiben will. Kleinmotoren, die hierzu geeignet sind, gibt es jetzt in großer Anzahl nach der Einführung des Sauggasmotors auch in solcher Anordnung, daß allen Verhältnissen Rechnung getragen wird. Die Motoren für die flüssigen Brennstoffe werden wohl nur noch Bedeutung als fahrbare Motoren behalten, weil der Sauggasmotor sie wegen der erheblich geringeren Betriebskosten bald verdrängen wird.

*) Der Preis ist nach dem ermäßigten Satze berechnet, da die Arbeitsstunden nicht in die Sperrzeit fallen brauchen. Ein Rabatt wird nicht gewährt, da die 100 Benutzungsstunden monatlich nicht herauskommen.

Übersicht

über die Betriebskosten einer Nutzpferdestärke in einer Stunde in Pfennigen bei 3000 Betriebsstunden und normaler Leistung
(schräge Zahlenwerte bei 1000 Stunden und normaler Leistung).

Anzahl der Pferdestärken	1	2	3	4	5	6	8	10	12	15	20
Mensch	366	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pferd am Göpel	78	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Wasserrad											
ohne Talsperre	4,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
mit "	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Heißdampfmaschine . .	—	—	—	—	—	—	—	—	9,0	7,4	6,9
	—	—	—	—	—	—	—	—	*15,4*	*12,4*	*13,1*
Dampfsparmotor	24,9	—	14,6	13,8	—	11,8	—	—	9,6	—	—
	42,2	—	*22,7*	*21,3*	—	*17,8*	—	—	*13,8*	—	—
Heißluftmaschinen	13,3	11,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Leuchtgasmotoren	17,0	13,0	10,7	10,3	9,4	9,2	8,7	—	7,7	—	6,9
	30,5	*22,0*	*17,5*	*16,7*	*14,9*	*14,7*	*13,7*	—	*11,6*	—	*9,9*
Güldnermotoren	—	—	—	—	—	—	—	7,8	—	7,0	6,7
Hafnirmotoren .	18,9	—	11,4	11,7	—	—	11,4	—	—	—	—
Benzinmotor . .	28,7	—	—	17,1	—	15,8	15,5	—	14,3	—	13,7
	46,8	—	—	*22,7*	—	*20,1*	*19,4*	—	*17,8*	—	*17,1*
Petroleummotor	24,3	—	—	13,4	—	12,0	11,7	—	10,8	—	10,2
	42,4	—	—	*18.9*	—	*16 3*	*15,6*	—	*14,3*	—	*13,6*
Spiritusmotor .	25,8	—	—	14,7	—	13,5	13,0	—	12,5	—	12,3
	43,9	—	—	*20,0*	—	*17,8*	*16,9*	—	*15,9*	—	*15,6*
Erginmotor . .	19,9	—	—	9,1	—	8,1	7,9	—	7,0	—	6,5
	38,0	—	—	*14,7*	—	*12,4*	*11,7*	—	*10,5*	—	*9,1*
Diesel- und Trinklermotor bei Verwendung von											
Paraffinöl . .	—	—	—	—	—	—	6,9	6,3	6,0	6,0	5,3
	—	—	—	—	—	—	*13,8*	*12,6*	*12,1*	*12,3*	*10,5*
Petroleum . .	—	—	—	—	—	—	9,2	8,6	8,2	8,1	7,4
	—	—	—	—	—	—	*16,2*	*14,9*	*14,3*	*14,5*	*12,6*
Ergin . . .	—	—	—	—	—	—	8,5	7,9	7,5	7,4	6,7
	—	—	—	—	—	—	*15,2*	*14,2*	*13,7*	*13,8*	*12,0*
Sauggasmotor bei Verwendung von											
Anthracit . .	—	—	—	—	—	—	7,0	6,3	5,8	—	4,8
	—	—	—	—	—	—	*14,7*	*13,1*	*11,7*	—	*9,6*
Koks	—	—	—	—	—	—	6,9	6,2	5,6	—	4,6
	—	—	—	—	—	—	*14,6*	*13,0*	*11,6*	—	*9,4*
Braunkohle .	—	—	—	—	—	—	—	6,2	—	—	4,6
	—	—	—	—	—	—	—	*13,6*	—	—	*9,7*
Elektromotor . .	18,2	17,2	16,3	—	13,6	—	11,5	11,1	10,6	—	—
	23,8	*22,6*	*21,7*	—	*18,8*	—	*16,6*	*16,2*	*15,3*	—	—

§ 15.

Einiges über die Beschaffung eines Kleinmotors.

Wenn der Kleinmeister einen für seine Verhältnisse etwa passenden Motor ausgewählt hat, so wende er sich unter Beifügung von Skizzen und einer kurzen Beschreibung des Aufstellungsortes und der zu treibenden Maschinen an die betreffende Fabrik mit dem Ersuchen, ihm eine Zeichnung über die Aufstellung des Motors und des etwa nötigen Kühlgefäßes sowie die Anbringung der erforderlichen Transmission mit Kostenanschlag einzusenden, was fast alle Fabriken umsonst tun. Dann bereite er alles für die Aufstellung des Motors vor (Gaszuleitung, Gasuhr ꝛc.) und lasse ihn durch einen der Monteure der Fabrik fix und fertig aufstellen, im Betriebe vorführen und über alle Einzelheiten eingehend sich unterrichten, namentlich aber über das Verhalten bei plötzlich vorkommenden Störungen. Außer den Reisekosten für die Monteure berechnen die Fabriken meistens für den Tag des Aufenthaltes am Orte und der Reise 7 M., für Logis und Beköstigung etwa 3,50 M.

Hinsichtlich der Bezahlung des Motors ist es fast allgemein üblich, daß ein Drittel des Betrages bei der Bestellung, das zweite Drittel bei Anlieferung und das letzte nach einem Monat entrichtet wird.

Die meisten Fabriken haften in der Weise für die Güte ihrer Motoren, daß sie alle während des ersten halben Jahres nachweislich durch schlechtes Material, fehlerhafte Konstruktion und mangelhafte Ausführung unbrauchbar gewordenen Teile sofort ersetzen, ohne eine weitere Verpflichtung zu irgend einem Schadenersatz zu übernehmen.

Da die Beschaffung des Motors dem Kleinmeister in vielen Fällen wegen der Bezahlung Schwierigkeiten bereitet, so müßte sie ihm durch die Bildung von Genossenschaften zur Beschaffung von Motoren und durch Vermittelung der Handwerkskammern möglichst erleichtert werden. Da der Staat an der Erhaltung eines selbstständigen Mittelstandes sogar lebhaft interessiert ist, so dürfte auch er Mittel für solche Zwecke, wenn auch nur vorschußweise, zur Verfügung stellen.

Wie oft kommen die Fälle vor, daß ein Kleinmeister für seinen kleinen Betrieb, z. B. eine Drechslerei, die erforderliche Betriebskraft von einem anderen Meister in demselben Hause erhält. Letzterer zieht

aus, und ersterer ist nun gezwungen, sich selbst einen Motor anzuschaffen. Für einen neuen langen die Mittel nicht. Er kauft also mit dem wenigen Gelde, das ihm zur Verfügung steht, einen alten, neu ausgeputzten Motor, der meistens nicht die Hälfte des Kaufpreises wert ist. Zu den nun fehlenden Betriebsmitteln kommen die hohen Betriebskosten des alten Motors, und der Kleinmeister geht geschäftlich nicht mehr vorwärts, sondern rückwärts. Solche und ähnliche Fälle lassen sich zu Hunderten aufzählen und da tut Hülfe not.

Alphabetisches Sachregister.

(Die angegebenen Zahlen sind die Seitenzahlen.)